

15,051/H/02.



**TUGAS AKHIR**  
**PRODUKSI**

**ANALISA PENGARUH JENIS ELEKTRODA  
TERHADAP LAJU KOROSI PADA PENGELASAN  
PELAT BAJA SS-41**



**Disusun Oleh :**

**BURHANI**

**Nrp. 4195 100 041**

RSP  
620.11223  
Bur  
a-1  
2001

**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2001**

PEER REVIEW	
Tgl. Tes	16/01/02
Terima	H
No. Agenda	21.4512

**ANALISA PENGARUH JENIS ELEKTRODA  
TERHADAP LAJU KOROSI PADA PENGELASAN  
PELAT BAJA SS-41**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Jurusan Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya**

**Surabaya, Agustus 2001**

**Mengetahui/Menyetujui**

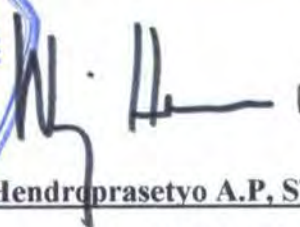
**9/8** Dosen Pembimbing I



**Ir. Heri Supomo, M.Sc**

**NIP. 131 842 506**

Dosen Pembimbing II



**Wing Hendroprasetyo A.P, ST, M.Eng**

**NIP. 132 133 972**





INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER (ITS)

**ABSTRAK**

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN

**Sarjana Teknik (S1)**

ANALISA PENGARUH JENIS ELEKTRODA TERHADAP LAJU KOROSI  
PADA PENGELASAN PELAT BAJA SS-41

Oleh : Burhani. Nrp. 4195 100 041

Dosen Pembimbing : 1. Ir. Heri Supomo, M.Sc.

2. Wing Hendropasetyo A. P, ST, M.Eng.

Salah satu penyebab semakin cepatnya laju korosi dari suatu material adalah karena dilakukannya proses pengelasan pada material tersebut yang menyebabkan terjadinya rekristalisasi yang dapat mengubah karakteristik kekuatan dan korosi dari suatu struktur rekayasa. Salah satu variabel penting dalam prosedur pengelasan adalah elektroda. Penggunaan elektroda yang berbeda dalam pengelasan akan menghasilkan komposisi kimia weld metal yang berbeda dan struktur weld metal dan HAZ yang berbeda, sehingga laju korosi pada weld metal dan HAZ dari hasil pengelasan dengan menggunakan elektroda tersebut berbeda pula.

Untuk melakukan pengelasan baja karbon rendah SS-41 tersedia beberapa macam elektroda yang dapat digunakan, contohnya standar AWS E7016, E7018 dan E7010. Karakteristik kekuatan hasil pengelasan dengan menggunakan elektroda-elektroda tersebut, tidaklah jauh berbeda. Tetapi karakteristik laju korosi dari hasil pengelasan tersebut perlu diteliti lebih lanjut. Dalam tugas akhir ini akan dilakukan analisa perbandingan laju korosi weld metal dan HAZ pada pengelasan mild steel SS-41 dengan menggunakan elektroda E7016, E7018 dan E7010.

Pengukuran laju korosi dilakukan dengan cara test polarisasi pada larutan NaCl setelah dilakukan pengelasan SMAW menggunakan ketiga jenis elektroda tersebut. Dan hasilnya menunjukkan laju korosi pengelasan dengan elektroda E7016 terkecil bila dibandingkan dengan E7018 dan E7010, tetapi laju korosi hasil las dengan elektroda-elektroda tersebut masih berada pada level yang diijinkan. Penggunaan pelat yang lebih tebal menyebabkan peningkatan laju korosi weld metal maupun HAZ-nya, tetapi peningkatan laju korosi tersebut sangat kecil.

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY (ITS)

**ABSTRACT**

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
DEPARTEMENT OF NAVAL ARCHITECTURE AND SHIP BUILDING

**Degree in Engineering (S1)**

ANALYSIS THE EFFECT OF ELECTODE TYPE ON THE CORROSION  
RATE OF SS-41 PLATE STEEL WELDING

By : Burhani. Nrp. 4195 100 041

Supervisors : 1. Ir. Heri Supomo, M.Sc.

2. Wing Hendroprasetyo A. P, ST, M.Eng.

A cause that increase corrosion rate of a material is applying welding proses, because recrystallisation is occure that can change characteristic of strength and corrosion of engineering structure. One of important variable in welding procedure is electrode. Using of different elektrode in welding will produce different weld metal chemical composition and weld metal and HAZ structure, Therefore, the corrosion rate of weld metal and HAZ is different.

To weld SS-41 mild steel, available several electrode that can used, such as AWS standard E7016, E7018 and E7010. strength characteristic of welding output use the electrodes is not much different. But the corrosion characteristic of weld metal and HAZ for the electrodes have to be evaluated. In this final project, it will be analyzed the weld metal and HAZ corrosion rate of SS-41 welded mild steel plate using E7016, E7018 and E7010 electrode.

The measurement of corrosion rate do with polarization test method at NaCl media after applied SMAW welding using the electrodes. And the result, show that corrosion rate of E7016 electrode is smaller than E7018 and E7010, but the corrosion rate still acceptable. Using of thicker plate cause increasing of the weld metal and HAZ corrosion rate, but the increasing is not significant.



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Allah Bapa Yang Maha Pengasih yang telah memberkati dan mendampingi penulis sehingga Tugas Akhir berjudul "*Analisa Pengaruh Jenis Elektroda Terhadap Laju Korosi Pada Pengelasan Pelat Baja SS-41*" telah dapat diselesaikan, dimana Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Perkapalan ITS Surabaya.

Dengan segala hormat dan kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya, kepada:

1. Bapak Ir. Heri Supomo, M.Sc, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
2. Bapak Wing Hendropasetyo A.P, ST, M.Eng, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
3. Bapak Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D, Selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan.
4. Bapak Ir. I.K. Aria Utama, M.Eng, Ph.D, Selaku Sekertaris Jurusan Teknik Perkapalan.
5. Bapak Ir. Soeweify M.Eng, selaku Dosen Wali.
6. Pak Yanto, Pak Murjito, Pak Didik, Pak Hardiman, Pak Djadi, Mas Deni di Laboratorium FTK, ITS.
7. Pak Slamet di Laboratorium D3 Teknik Kimia, ITS.
8. Pak Ponian di Bengkel Las Div. Kaprang PT. PAL.
9. Pimpinan dan Staf PT. ESABINDO Surabaya.
10. Bapak dan Ibuku, Nenekku, Kakak-kakakku serta Keponakan-keponakanku.
11. Keluarga Pak Ivan, Keluarga Bu Satrio, Keluarga Pak Agus, Hesti Sekeluarga.
12. Teman-temanku arek kapal 95, Atmo, Brewok, Monot, Si Boy, Si Hot, Saut, Toga, Karjo, Jenk Sri, Tiar, Ocol, Puja, Pepen, Asep, Cak Nur, Cak Bul, Lulu, Imo, Prio, Uju, Didik, Nono, Ari, Emak, Ipul, Agus, Bodong,

Iis, Mohan, Guponk, Kamsir, Yayan, Reri, Purnomo, Alam, Suryo, Eko, Ifnu, Salim, Agung, Sigit, Fajar, Hendro, Indra, Coy.

13. Teman-temanku di Green House, Cosmas, Jungjungan, Pungu, Royke, Aka, Oscar, Beni, Zero, Eben, Said, Eko, Wisnu, Fajar, Rio, Bambang Yudi, Ferdi.

*Engkau telah memberi saya minum ketika saya haus, memberi makan ketika saya kelaparan, memberi lentera ketika saya kegelapan dan menunjukkan jalan ketika saya hampir tersesat. Semoga Allah Bapa di Sorga membalasnya dalam setiap doa dan permohonanmu kepadaNya.*

Penulis menyadari bahwa penelitian dalam Tugas Akhir ini masih ada kekurangansempurnaan, sehingga saran dan kritik yang berifat membangun dari berbagai pihak sangat dibutuhkan. Akhirnya penulis berharap semoga tulisan penelitian Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, Agustus 2001

Penulis



## DAFTAR ISI

### Lembar Pengesahan

Abstrak .....	i
Kata Pengantar .....	iii
Daftar Isi .....	v
Daftar Gambar .....	vii
Daftar Tabel .....	ix
Daftar Notasi .....	x

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG .....	I-1
1.2 PERUMUSAN MASALAH .....	I-3
1.3 TUJUAN PENELITIAN .....	I-3
1.4 MANFAAT PENELITIAN .....	I-4
1.5 BATASAN MASALAH .....	I-4

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 DASAR TEORI KOROSI .....	II-1
2.1.1 KONSEP DASAR KOROSI .....	II-1
2.1.2 DEFINISI KOROSI .....	II-3
2.1.3 DASAR TERJADINYA KOROSI .....	II-4
2.1.4 FAKTOR PENYEBAB KOROSI .....	II-7
2.1.5 JENIS-JENIS KOROSI .....	II-17
2.1.6 KOROSI PADA PENGELASAN .....	II-22
2.1.7 POLARISASI .....	II-27
2.2 DASAR TEORI PENGELASAN .....	II-30
2.2.1 LAS ELEKTRODA TERBUNGKUS .....	II-30
2.2.2 SIKLUS TERMAL DAERAH LASAN .....	II-38
2.2.3 PENGELASAN LOGAM MILD STEEL .....	II-44

2.3 KRISTALISASI DAN CACAT KRISTAL .....	II-46
2.3.1 KRISTALISASI .....	II-46
2.3.2 CACAT KRISTAL .....	II-48
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 PENDAHULUAN .....	III-1
3.2 VARIABEL .....	III-3
3.3 BAHAN .....	III-4
3.4 PERALATAN .....	III-4
3.5 PROSEDUR PENELITIAN .....	III-5
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 ANALISIS DIAGRAM TAFEL .....	IV-2
4.2 PERHITUNGAN LAJU KOROSI .....	IV-3
4.3 ANALISIS VARIABEL ELEKTRODA LAS .....	IV-6
4.4 ANALISIS VARIABEL KETEBALAN PELAT .....	IV-13
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 KESIMPULAN .....	V-1
5.2 SARAN .....	V-2
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1	Sebuah profil energi termodinamika untuk logam dan senyawa-senyawanya ..... II-2
Gambar 2.2	Beberapa bentuk penyusunan kristal ..... II-13
Gambar 2.3	Cacat – cacat pada pengelasan ..... II-25
Gambar 2.4	Kemungkinan tempat terjadinya celah (crevice) pada pengelasan ..... II-26
Gambar 2.5	Pengeplotan Tafel teoritis ..... II-29
Gambar 2.6	Pengeplotan Tafel praktis yang diidealkan ..... II-30
Gambar 2.7	Las busur dengan elektroda terbungkus ..... II-31
Gambar 2.8	Pemindahan logam cair ..... II-32
Gambar 2.9	Arah pembentukan dari logam las ..... II-39
Gambar 2.10	Siklus termal las pada beberapa jarak dari batas butir ..... II-43
Gambar 2.11	Siklus termal dalam las busur tangan ..... II-43
Gambar 2.12	Pengaruh perbandingan Mn/C terhadap kurva transisi ..... II-45
Gambar 2.13	Tiga tahap dendritic solidification pada logam ..... II-47
Gambar 3.1	Bagan alur proses percobaan ..... III-2
Gambar 3.2	Sel tiga elektroda ..... III-5
Gambar 3.3	Penampang melintang pelat Mild Steel untuk proses pengelasan ..... III-6
Gambar 4.1	Pengeplotan tafel ..... IV-2
Gambar 4.2	Perbandingan laju korosi pada weld metal ..... IV-7
Gambar 4.3	Perbandingan laju korosi pada HAZ ..... IV-7
Gambar 4.4	Perbedaan susunan kristal bcc dengan bct ..... IV-9

Gambar 4.5	Struktur mikro dalam baja karbon rendah . . . . .	IV-9
Gambar 4.6	Pengaruh karbon terhadap $M_s$ dan $M_f$ . . . . .	IV-10
Gambar 4.7	Peningkatan ratio c/a pada bct . . . . .	IV-11
Gambar 4.8	Perbandingan laju korosi weld metal dengan mengikutkan variabel tebal . . . . .	IV-14
Gambar 4.9	Perbandingan laju korosi HAZ dengan mengikutkan variabel tebal . . . . .	IV-14
Gambar 4.10	Hubungan tebal pelat dengan kecepatan pendinginan pengelasan . . . . .	IV-16
Gambar 4.11	Diagram pendinginan kontinu (diagram CCT) . . . . .	IV-17



## DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
Tabel 2.1	Galvanic series dari beberapa logam dan paduan logam di air laut .....	II-19
Tabel 2.2	Macam dan fungsi bahan fluks .....	II-33
Tabel 2.3	Spesifikasi elektroda terbungkus dari baja Lunak .....	II-37
Tabel 2.4	Klasifikasi baja menurut tingkat deoksidasi .....	II-45
Tabel 3.1	Parameter pengelasan .....	III-6
Tabel 4.1	Hasil perhitungan laju korosi pada pelat SS-41 30 mm .....	IV-4
Tabel 4.2	Hasil perhitungan laju korosi pada pelat SS-41 25 mm .....	IV-5
Tabel 4.3	Laju korosi relatif dengan konvesi pada Satuan metrik .....	IV-6
Tabel 4.4	Komposisi kimia weld metal .....	IV-12

## DAFTAR NOTASI

$a$	:	berat atom
$A$	:	Ampere
$D$	:	density logam
$E_{kor}$	:	potensial baku
HAZ	:	heat affected zone
$i_a$	:	laju reaksi anoda
$i_c$	:	laju reaksi katoda
$i_o$	:	exchange current density, yaitu arus dalam keadaan kesetimbangan dinyatakan sebagai kerapatan arus
$i_{kor}$	:	kerapatan arus korosi
$K$	:	konstanta laju korosi Faraday
$mA$	:	mili Ampere
$mmpy$	:	mili meter per year
$mpy$	:	mils per year
$mV$	:	mili Volt
$n$	:	jumlah elektron yang bereaksi (valensi)
$V$	:	Voltage
$\beta_a$	:	konstanta anoda Tafel
$\beta_c$	:	konstanta katoda Tafel
$\eta$	:	selisih potensial korosi elektroda logam dengan potensial korosi bebas
$v$	:	laju korosi



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Pada waktu ini pengelasan telah dipergunakan secara luas dalam penyambungan bagian-bagian konstruksi bangunan baja dan konstruksi mesin. Luasnya penggunaan teknologi ini disebabkan karena bangunan dan mesin yang dibuat dengan mempergunakan teknik ini menjadi lebih ringan dan proses pembuatannya juga lebih sederhana, sehingga biaya keseluruhannya menjadi lebih murah. Lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas; meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, perpipaan, kendaraan dan lain sebagainya. Di dunia perkapalan teknologi las telah lama digunakan, tercatat pada tahun 1921 telah dibuat kapal laut pertama di dunia yang seluruhnya menggunakan sambungan las. Saat ini hampir semua kapal baru dibangun dengan menggunakan teknologi las untuk menyambung seluruh bagian-bagian konstruksinya.

Prosedur pengelasan kelihatannya sangat sederhana, tetapi sebenarnya di dalamnya banyak masalah-masalah yang harus diatasi di mana pemecahannya memerlukan bermacam-macam pengetahuan. Karena itu dalam pengelasan, pengetahuan harus turut serta mendampingi praktek. Secara lebih terperinci dapat dikatakan dalam perancangan konstuksi bangunan dan mesin dengan sambungan las, harus direncanakan pula tentang cara pengelasan, cara pemeriksaan, bahan las dan jenis las yang akan digunakan, berdasarkan fungsi dari bagian-bagian bangunan



dan mesin yang dirancang tersebut. Untuk bangunan kapal yang berada di lingkungan air laut yang korosif maka sangatlah perlu untuk memperhitungkan faktor korosi ini untuk merancang suatu prosedur pengelasan.

Pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas. Karena proses ini maka logam disekitar lasan mengalami siklus termal cepat yang menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan metalurgi yang rumit, deformasi dan tegangan-tegangan termal. Hal-hal ini sangat erat hubungannya dengan ketangguhan, cacat las dan korosi. Jadi salah satu penyebab berubahnya laju korosi dari suatu material adalah karena dilakukannya proses pengelasan pada material tersebut. Salah satu variabel penting dalam prosedur pengelasan adalah elektroda. Penggunaan elektroda yang berbeda dalam pengelasan akan menghasilkan komposisi kimia weld metal yang berbeda, sehingga laju korosi pada weld metal tersebut berbeda pula.

Untuk melakukan pengelasan baja karbon rendah SS-41 tersedia beberapa macam elektroda yang dapat digunakan, contohnya standard AWS E7016, E7018 dan E7010. Karakteristik kekuatan hasil pengelasan dengan menggunakan elektroda-elektroda tersebut, tidaklah jauh berbeda. Tetapi karakteristik laju korosi dari hasil pengelasan tersebut perlu diteliti lebih lanjut, karena setiap elektroda mempunyai kandungan kimia dan fluks yang berbeda.





## 1.2 PERUMUSAN MASALAH

Pelat mild steel SS-41 yang dilas dengan menggunakan elektroda E7016, E7018 atau E7010 dalam hal kekuatan dan ductility weld metal, performance-nya baik dan hampir sama. Tetapi kemampuan hasil las ketiga jenis elektroda tersebut dalam ketahanannya terhadap korosi, perlu dilakukan analisa lebih lanjut. Beberapa masalah yang ingin dijawab dengan penelitian ini adalah:

1. Apakah ketiga elektroda tersebut menghasilkan hasil las yang mempunyai ketahanan korosi yang baik?
2. Elektroda mana dari ketiga elektroda tersebut yang mempunyai ketahanan korosi terbaik?
3. Bagaimanakah perilaku laju korosi di weld metal dan HAZ dengan menggunakan elektroda-elektroda tersebut?
4. Bagaimana pengaruh ketebalan pelat terhadap laju korosi weld metal dan HAZ dengan pengelasan elektroda-elektroda tersebut?

## 1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis perbandingan laju korosi weld metal dan HAZ hasil pengelasan dengan menggunakan elektroda E7016, E7018 dan E7010 pada pelat mild steel dalam media pengkorosif NaCl.
2. Mengetahui pengaruh tebal pelat terhadap laju korosi pada hasil las dengan menggunakan elektroda-elektroda tersebut.





#### 1.4 MANFAAT PENELITIAN

Diharapkan dengan adanya penelitian laju korosi ini, dari data dan hasil penelitian dapat digunakan sebagai berikut :

1. Dari ketiga elektroda yaitu E7016, E7018 dan E7010, dimana tiap-tiap elektroda mempunyai fluks dan prosentase kandungan C, Si, dan Mn berbeda, dapat diketahui mana yang terbaik ketahanan korosinya untuk digunakan pada pengelasan mild steel (SS-41) dalam lingkungan yang korosif.
2. Dapat mengetahui perilaku laju korosi weld metal dan HAZ , dengan menggunakan elektroda E7016, E7018 dan E7010.
3. Dapat diketahui perilaku laju korosi weld metal dan HAZ, dengan variabel tebal pelat 25 mm dan 30 mm.

#### 1.5 BATASAN MASALAH

Untuk membatasi permasalahan agar mendapatkan hasil yang sesuai dengan tujuan penulisan, maka diberikan batasan permasalahan pada penulisan, yaitu :

1. Material pelat yang digunakan adalah pelat mild steel SS-41 dengan ukuran tebal 25 dan 30 mm.
2. Elektroda-elektroda yang digunakan adalah klasifikasi AWS A5.1-78 dan produk dari ESAB, yaitu: E 7016 (OK 53.04), E 7018 (OK 48.04) dan E 7010 (OK 22.46). Pertimbangan yang dipakai untuk pemilihan



elektroda hanya kesamaan kuat tarik elektroda tersebut terhadap base metal.

3. Spesimen tidak dilakukan coating.
4. Percobaan dilakukan pada suhu kamar.
5. Hasil pengelasan hanya dilakukan pemeriksaan secara visual.
6. Pengaruh temperatur dan aliran dalam menghitung laju korosi diabaikan.
7. Medium elektrolit yang digunakan NaCl (salinitas 35 gr/liter).

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 DASAR TEORI KOROSI

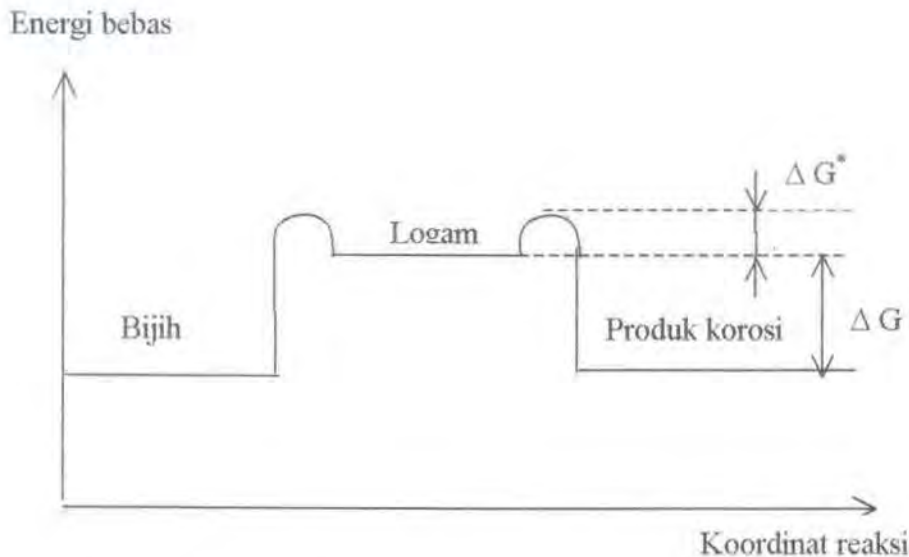
##### 2.1.1 KONSEP DASAR KOROSI

Korosi adalah gejala yang timbul secara alami, pengaruhnya dialami oleh hampir semua zat dan diatur oleh perubahan-perubahan energi. Bentuk energi cukup banyak tetapi gaya penggerak yang menimbulkan korosi berasal dari energi kimia. Energi ini antara lain diturunkan dari energi yang tersimpan dalam ikatan-ikatan kimia zat yang disebut energi dalam sistem. [Trethwey, 1991]

Di alam bebas logam kebanyakan ditemukan dalam keadaan tergabung secara kimia dan disebut bijih. Bijih-bijih ini bisa berupa oksida, sulfida, karbonat dan senyawa-senyawa lain yang lebih kompleks, maka berdasarkan pengkajian termodinamika dikatakan bahwa bijih dan senyawa-senyawa lain semacam itu berada pada keadaan energi yang paling rendah. Untuk memisahkan logam dari salah satu bijihnya (misalkan besi) diperlukan energi dalam jumlah besar dan biasanya dilakukan melalui proses pemanasan.

Karena itu logam-logam dalam keadaan tidak bergabung dengan bahan lain biasanya tingkat energi yang tinggi, hal itu bisa dijelaskan dalam gambar 2.1 berikut ini :





Gambar 2.1. Sebuah profil energi termodinamika untuk logam dan senyawa – senyawanya [Trethwey, 1991]

Hukum Termodinamika mengungkapkan tentang kuatnya kecenderungan keadaan energi untuk berubah ke keadaan energi lebih rendah. Kecenderungan inilah yang menyebabkan logam-logam bergabung kembali dengan unsur – unsur yang ada di lingkungannya.

Pada gambar diatas selisih energi bebas antara logam dan produk korosinya ( $\Delta G$ ) hanya menggambarkan kecenderungan logam untuk mengalami korosi, jadi bukan laju korosinya sendiri. Ini karena antara logam dan hasil korosi terdapat suatu perintang energi. Atom-atom logam harus mengatasi perintang ini agar dapat mengalami korosi dan banyak energi yang harus dipasok agar hal ini bisa terjadi. Perintang energi disebut energi bebas aktivasi, yang digambarkan dengan simbol  $\Delta G^*$ . Ukuran energi bebas aktivasi inilah yang menentukan laju suatu reaksi korosi, yang tetapan lajunya dinyatakan dalam  $k_{kor}$ . Laju reaksi korosi  $v$  dapat dinyatakan dengan [Trethwey, 1991] :



$$v = k_{kor} [\text{reaktan}]$$

dengan

$$k_{kor} = A \exp (-\Delta G^* / RT)$$

dimana :

A = tetapan yang tidak didefinisikan

R = tetapan gas universal

T = temperatur mutlak

Laju korosi dapat pula ditentukan dari pengukuran kerapatan arus, seperti terlihat dalam persamaan berikut ini

$$i = z \cdot F \cdot J$$

dimana :

$i$  = rapat arus

J = fluks bahan yang merupakan laju korosi persatuan  
luas

Satuan laju korosi biasanya dinyatakan dalam milimeter / tahun (mmpy) yaitu milimeter dalamnya korosi seluruh permukaan yang terbuka dalam waktu satu tahun.

### 2.1.2 DEFINISI KOROSI

Korosi diartikan sebagai karat yaitu suatu yang hampir dianggap musuh masyarakat. Karat (rust) tentu saja sebutan yang belakang ini hanya dikhususkan bagi korosi pada besi, sedangkan korosi adalah gejala destruktif yang



mempengaruhi semua logam, walaupun besi bukan logam pertama yang dimanfaatkan oleh manusia. [Trethwey, 1991]

Korosi berasal dari bahasa latin “*Corrode*” yang artinya karat. Sedangkan untuk lebih memahami pengertian korosi, dibawah ini disajikan beberapa definisi korosi :

1. Korosi adalah serangan yang bersifat merusak pada suatu logam oleh reaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungannya. Istilah karat digunakan untuk korosi besi atau campuran besi (ferrous alloy) dengan pembentukan produksi korosi berupa oksida besi.
2. Korosi adalah penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungan. Istilah karat ( rust ) adalah sebutan yang hanya digunakan khusus pada korosi besi.
3. Korosi adalah penurunan mutu atau kerusakan bahan karena berinteraksi dengan lingkungannya. Istilah karat hanya digunakan untuk korosi logam.

Dari ketiga definisi di atas, maka dapat disimpulkan bahwa korosi adalah reaksi kimia atau elektrokimia antara logam dengan lingkungannya yang dapat mengakibatkan penurunan sifat / mutu logam.

### 2.1.3 DASAR TERJADINYA KOROSI

Berdasarkan mekanisme proses terjadinya, korosi dapat dibedakan atas :

#### 1. Korosi Sebagai Reaksi Kimia

Korosi secara kimia adalah korosi yang terjadi dengan reaksi kimia murni. Pada proses ini terjadinya korosi tanpa ikut sertanya elektron. Reaksinya dapat





digambarkan pada reaksi besi yang dicelup ke dalam asam klorida (HCl), dengan reaksi :



## 2. Korosi Sebagai Reaksi Elektrokimia

Reaksi elektrokimia dapat digunakan untuk menerangkan mekanisme terjadinya korosi. Reaksi elektrokimia dapat digambarkan pada reaksi besi yang dicelupkan dalam asam klorida (HCl). Pada proses besi dalam HCl, reaksinya berlangsung dengan cepat, gas hidrogen dilepas dan besi akan larut membentuk  $\text{FeCl}_2$ , dengan reaksi :



Dengan memperhatikan bahwa ion  $\text{Cl}^-$  tidak terlibat dalam reaksi, maka persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi :



Pada persamaan diatas besi bereaksi dengan ion hidrogen dalam larutan asam membentuk ion  $\text{Fe}^{2+}$  dan gas hidrogen. Dapat dimengerti bahwa selama reaksi, Fe teroksidasi menjadi ion  $\text{Fe}^{2+}$  dan ion hidrogen tereduksi menjadi  $\text{H}_2$ .

Reaksi oksidasi besi bersifat anodik ( anoda )



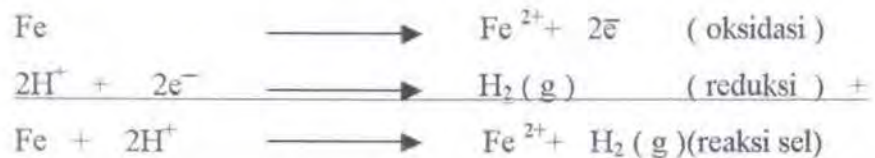
Sedangkan reduksi ion hidrogen bersifat katodik ( katoda )



Reaksi oksidasi atau reaksi anodik ditandai dengan kenaikan valensi atau produksi elektron dari 0 menjadi 2, sedangkan ion hidrogen akan direduksi



menjadi gas hidrogen. Penulisan reaksi yang lengkap dapat dijelaskan dengan menggunakan persamaan reaksi oksidasi dan reduksi seperti dibawah ini:



Kedua reaksi tersebut melibatkan muatan listrik pada daerah anodik dan katodik. Reaksi ini dapat berlangsung bila elektron mengalir dari anodik ke katodik melalui suatu elektrolit, dan aliran elektron hanya dapat terjadi bila ada perbedaan tegangan antara anodik dan katodik. Ini berarti bahwa suatu logam akan terkorosi bila pada permukaan logam terdapat daerah yang bersifat anodik dan katodik.

Reaksi anodik pada peristiwa korosi secara umum digambarkan sebagai :



Sedangkan untuk reaksi katodik yang mungkin selama proses korosi logam adalah: [Widharto,1987]

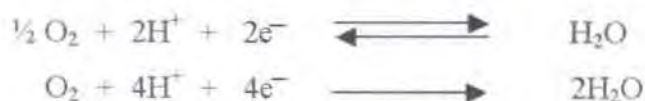
1. Evolusi Hidrogen :



2. Reduksi Air :



3. Reduksi Oksigen ( lingkungan asam ) :



4. Reduksi Oksigen ( lingkungan netral atau basa ) :





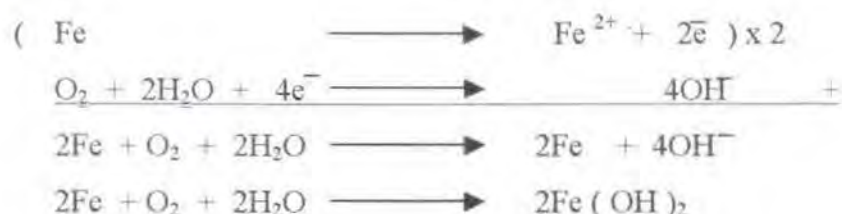
## 5. Reduksi Ion Logam :



## 6. Pengendapan Logam :



Bila permukaan Fe kontak dengan air maka akan terjadi reaksi anodik sebagai berikut :



dan produk akhir yaitu  $2\text{ Fe ( OH )}_2$  yang diperoleh adalah karat. Jadi selama logam terkorosi, laju oksidasi sama dengan laju reduksi.

#### 2.1.4 FAKTOR PENYEBAB KOROSI

Ada dua aspek penting yang mempengaruhi proses korosi yaitu logam dan lingkungannya. Hubungan antara logam dan lingkungannya sangat relatif sekali. Ada logam tertentu yang bersifat korosif pada suatu lingkungan tetapi ada logam lain yang tidak korosif pada lingkungan tersebut, sebagai contoh bahwa hubungan logam dan lingkungan bersifat relatif adalah dimana logam Stainless Steel korosif terhadap elektrolit asam klorida pekat (83% Chloride Acid), tetapi pada kepekatan yang sama Carbon Steel tidak bersifat korosif. [Widharto, 1987]

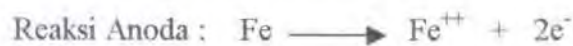




## 1. Aspek Lingkungan

Lingkungan merupakan suatu media yang berada pada sekeliling atau sekitar bahan logam. Adapun faktor yang mempengaruhi korosi dari aspek lingkungan ini adalah :

- a. Adanya Oksigen terlarut atau bahan oksidator yang lain yang dapat mempengaruhi laju korosi yang terjadi.



Dalam hubungannya dengan aktif-pasif metal apabila oxidizer ditambah akan berakibat pada bertambahnya Corrosion Rate, pada tingkat tertentu harga Corrosion Rate akan konstan dan apabila diadakan penambahan oxidiser lagi akan berakibat pada meningkatnya Corrosion Rate secara dramatik.

- b. Kecepatan Media

Seperti pada penambahan oxidizer pengaruh kecepatan media terhadap Corrosion Rate tergantung pada karakteristik logam dan lingkungan dimana benda tersebut berada. Ada tiga jenis karakteristik logam dalam hubungannya dengan kecepatan media yaitu :

- Jenis A : Proses korosi dikontrol oleh katodik difusion sehingga kecepatan media berpengaruh pada Corrosion Rate.
- Jenis B : Proses korosi dikontrol oleh activation polarisation dan kecepatan media tidak berpengaruh terhadap Corrosion Rate.



- Jenis C : Beberapa logam mempunyai ketahanan korosi didalam media tertentu, apabila agitasi diberikan pada larutan media, maka akan terjadi perilaku hubungan kecepatan dengan Corrosion Rate.

c. Garam terlarut

Garam merupakan senyawa kimia yang bersifat pengoksidasi ataupun bersifat pereduksi, sehingga tingkatan kadar garamnya bisa sebanyak mungkin atau sekecil mungkin. Kadar garam yang terlarut dalam lingkungan sangat berpengaruh terhadap laju korosi, semakin tinggi kadar garam maka akan meningkatkan laju korosi, namun demikian berdasarkan teori pasivitas, pada kadar garam tertentu yaitu dengan kadar garam yang tinggi laju korosi akan menurun. Kondisi tersebut dinamakan kondisi pasif sehingga larutan garam selain bisa bersifat katalisator juga bisa bersifat sebagai inhibitor.

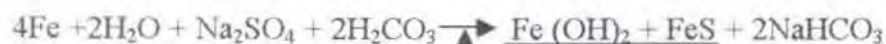
d. Konsentrasi gas

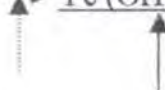
Selain garam terlarut, kondisi udara juga akan sangat berpengaruh terhadap proses korosi. Hal ini karena fase gas merupakan zat yang mudah bereaksi dengan senyawanya. Dengan menganalisa kandungan gas yang ada maka gas-gas yang sangat berpengaruh harus dikurangi sekecil mungkin. Jenis gas yang sangat berpengaruh terhadap proses korosi adalah  $\text{CO}_2$  dan  $\text{O}_2$  selain itu ada jenis gas lain yang ikut berpengaruh, diantaranya adalah  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{Cl}_2$  dan  $\text{H}_2$ . Gas-gas tersebut bersifat katalisator terhadap proses korosi.



## e. Aksi dari Bakteri Anaerobik

Secara teoritis apabila tidak terdapat zat asam, maka laju pengkaratan pada baja relatif lambat, namun pada kondisi-kondisi tertentu ternyata laju pengkaratannya tinggi sekali, setelah diselidiki ternyata didaerah tersebut hidup sejenis bakteri yaitu bakteri anaerobik yang hanya bertahan dalam kondisi tanpa zat asam. Bakteri ini mengubah (reducing) garam sulfat menjadi asam yang reaktif dan menyebabkan karat (rust). Reaksinya adalah sebagai berikut :




  
 Bakteri      Produk karat

Bakteri ini juga lazim disebut Sulfate Reducing Bacteria, dan jenisnya adalah *Sporovibrio Desulfuricans*. [Widharto, 1987]

## f. Temperatur

Apabila dua logam yang sama berada dalam elektrolit yang sama, dan terletak pada masing-masing tempat yang berbeda suhu, jika kedua logam tersebut dihubungkan maka logam yang terletak disuhu yang rendah akan bersifat anodik dan ditempat yang bersuhu tinggi akan menjadi katodik, dengan demikian akan terjadi aliran elektron dari anoda ke katoda dan





menyebabkan karat dibagian anoda tersebut. Hal ini terjadi pada kasus elektroda tembaga yang dimasukkan kedalam elektrolit berupa larutan  $\text{CuSO}_4$ , demikian halnya timah, namun pada perak justru terjadi kebalikannya.

g. Kadar keasaman (pH)

Kecepatan korosi relatif konstan pada pH antara 4–10. Pada pH kurang dari 4, asam menyebabkan terjadinya pelepasan hidrogen pada beberapa kondisi asam khususnya yang mengandung sulfida, hidrogen yang terjadi akan terdistribusi kedalam baja dan menyebabkan blistering pada baja yang berkekuatan rendah (low strength steel) dan cracking pada baja kuat (high strength steel). Pada pH diatas 10 kecepatan korosi menurun, garam terlarut secara umum menambah kecepatan korosi karena garam ini dapat meningkatkan konduktivitas larutan.

h. Kecepatan aliran

Kecepatan aliran bisa meningkatkan laju korosi khususnya bila ada aliran olakan. Pergolakan air laut menyebabkan hancurnya lapisan pelindung apalagi kalau aliran larutan tersebut mengandung partikel-partikel padat. Selain itu benturan-benturan mempercepat penetrasi, sedangkan peronggaan memperbanyak bagian permukaan baja yang tersingkap korosi berlanjut. Namun pada sisi lain, yaitu secara elektrokimia pada kecepatan tertentu kecepatan aliran bisa mengganggu konsistensi dari reaksi korosi dan hal ini bisa menurunkan laju korosi. Pada kecepatan aliran yang relatif tinggi dimana logam tercelup, bisa meningkatkan laju korosi. Jika hal



tersebut berlanjut bisa mengakibatkan korosi erosi, yang diawali dengan rusaknya lapisan film logam yang selanjutnya permukaan logam akan mengalami kerusakan.

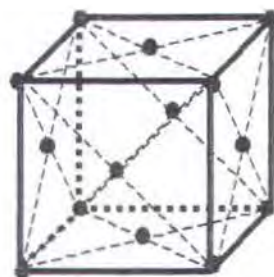
i. Pengotoran biologis

Menempelnya hewan-hewan berkulit keras cenderung meredakan serangan korosi karena menghambat masuknya oksigen. Dalam keadaan lain, dimana yang menempel sedikit dan terisolasi justru bisa menyebabkan korosi lubang akibat aerasi diferensial dibawah hewan yang menempel tersebut.

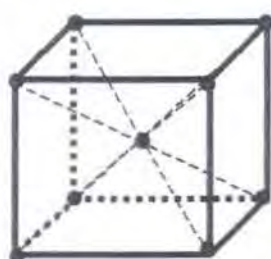
## 2. Aspek Logam

Dalam proses korosi logam berlaku sebagai subyek reaksi, maka dengan sendirinya mempelajari karakteristik dari logam baik secara makro maupun mikro sangatlah penting supaya mendapatkan jenis logam yang cenderung tahan terhadap lingkungan tertentu. Logam dan paduannya terbentuk dari berbagai kristal atom. Kristal-kristal atom logam tersusun dalam suatu bentuk yang teratur dengan ikatan yang sangat kuat.

Beberapa bentuk penyusunan kristal adalah dapat dilihat pada gambar dibawah : [Suherman, 1987]



Gambar 2.2a. Face Centered Cubic (FCC) atau Kubus Pemusatan Sisi



Gambar 2.2b. Body Centerd Cubic (BCC) atau Kubus Pemusatan Ruang



Gambar 2.2c. Hexagonal Close-Packed (HCP) atau Hexagonal Tumpukan Padat

Gambar 2.2. Beberapa bentuk penyusunan kristal. [Suherman, 1987]





Ketika suatu logam mengalami pembekuan dan pendinginan kristal– kristal atom secara acak terdistribusi didalam logam cair dan nantinya akan terbentuk butiran–butiran, pada saat itu juga ada daerah yang mempunyai tingkat energi berbeda dengan daerah lainnya. Daerah tersebut dinamakan daerah batas butir (grain boundary). Daerah batas butir inilah yang mempunyai tingkat energi yang lebih tinggi dan lebih reaktif dibandingkan daerah butiran yang lain. Oleh sebab itu daerah batas butir akan mengalami kerusakan yang lebih cepat pada saat terjadinya proses korosi. Sebagai contoh terbentuknya daerah yang berwarna gelap yang memisahkan daerah satu dengan lainnya pada proses pengetsaan. Cacat kristal yang terjadi pada butiran logam akan mempercepat proses korosi. [Suherman, 1987]

Berbagai faktor yang mempengaruhi proses korosi dari aspek logam adalah :

a. Komposisi unsur–unsur pada logam

Setiap jenis logam mempunyai kandungan unsur–unsur yang berbeda–beda dan hal ini bisa menyebabkan sifat korosifitas dari logam tersebut. Logam–logam yang mengandung besi (ferrous) bisa dikelompokkan dalam tiga bagian yaitu :

- ❑ Besi cor, besi dan baja tempa, dimana tidak ada elemen campuran lain yang ditambahkan. Pada kelompok ini logam mudah terkena korosi.
- ❑ Baja campuran rendah dimana terdiri dari kurang lebih 2–3 % elemen campuran seperti chromium, copper dan nickel. Baja pada kategori ini masih cenderung mudah terkena korosi. Tetapi apabila berada dibawah kondisi atmosphere logam tersebut menjadi bersifat lebih protektif



sehingga laju korosi menjadi lebih lambat dibanding baja pada kategori pertama.

- Stainless Steel, dimana terdiri dari elemen campuran kadar tinggi, yaitu 18 % chromium, 8 % nickel, dan 3 % molybdenum. Baja tipe ini tidak bersifat korosif.

b. Jenis logam

Setiap logam atau paduan akan bereaksi secara berbeda terhadap suatu elektrolit yang sama. Disamping itu perlu diketahui bahwa ada logam atau paduan tertentu menjadi justru pasif (tidak bereaksi) bila kekuatan elektrolit melampaui batas tertentu. Baja karbon termasuk yang memiliki sifat passivitas ini.

c. Homogenitas dan fisika permukaan logam.

d. Kemampuan pembentukan suatu lapisan pelindung.

e. Sifat mekanik logam

Sifat mekanik dari logam menunjukkan kemampuan dari suatu logam untuk menerima beban, gaya atau energi tanpa menimbulkan kerusakan pada bahan atau komponen tersebut. Seringkali bila suatu bahan mempunyai sifat mekanik yang baik tetapi kurang baik terhadap sifat yang lain, misalnya saja baja dimana baja yang mempunyai sifat mekanik yang cukup baik tetapi ternyata mempunyai sifat tahan korosi yang kurang baik sehingga seringkali sifat tahan korosinya ini diperbaiki dengan pengecatan atau galvanising.





Salah satu sifat mekanik yang berkaitan erat dengan ketahanan material terhadap korosi adalah kekerasan (*hardness*) yang didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk tahan terhadap penggoresan, pengikisan (*abrasi*) ataupun penetrasi. Ada kecenderungan bahwa logam dengan tingkat kekerasan yang tinggi akan lebih tahan terhadap korosi terutama korosi erosi.

f. Kehantaran listrik

Kehantaran listrik yang tinggi memungkinkan aliran listrik dari anoda ke katoda tetap bekerja meskipun kedua elemen tersebut mempunyai jarak yang tidak berdekatan. Dengan kehantaran listrik yang tinggi karena mempunyai perbedaan beda potensial dari kedua logam yang besar akan meningkatkan elemen anoda lebih bersifat korosif, maka apabila perlu memilih dua jenis logam yang berbeda dipilih logam dengan selisih beda potensial yang tidak besar.

g. Struktur mikro logam

Struktur material yang tidak homogen akan ikut mempengaruhi laju korosi, ketidak homogenan struktur material disebabkan oleh beberapa hal antara lain :

- ☐ Campuran metal/logam (secara kimia) yang tidak seimbang
- ☐ Pengaruh pengerjaan mekanis dari material, misalnya bending
- ☐ Pengerjaan panas (*heat treatment*) yang tidak sempurna

Pada pengerjaan mekanis bisa mengakibatkan susunan kristal yang saling berdekatan dalam suatu logam akan mengalami perubahan atau perbedaan





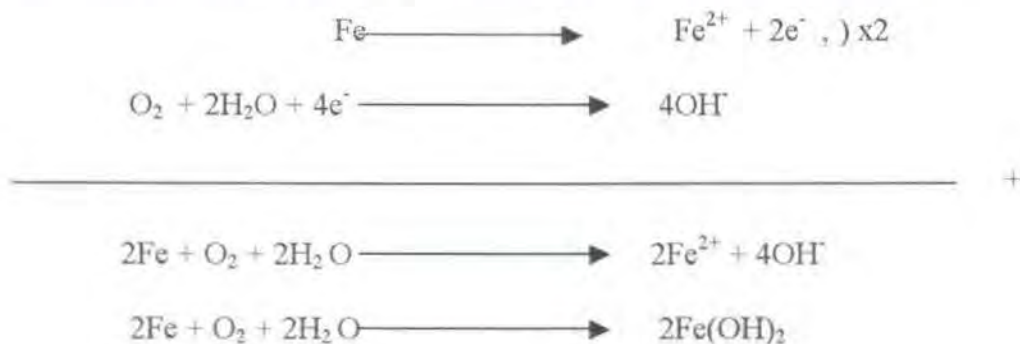
dari susunan kristal aslinya. Jadi struktur mikro logam mempengaruhi pula jenis korosi yang terjadi.

### 2.1.5 JENIS – JENIS KOROSI

Efek korosi yang terjadi pada logam bervariasi, tergantung pada kondisi alam dan lingkungan yang berlaku. Dan klasifikasi dari jenis – jenis bentuk korosi secara garis besar dapat dibedakan yaitu :

#### 1. Korosi Homogen ( Uniform Attack ).

Karat terjadi secara homogen ke seluruh bagian material yang terbuka atau telanjang dimana jenis korosi yang paling sering dan umum terjadi. Biasanya mudah untuk diperkirakan dan diukur. Berkurangnya ketebalan logam merupakan fungsi dari waktu. Misalnya proses korosi yang terjadi pada logam besi yang tercelup pada air. Logam besi akan teroksidasi membentuk ion  $\text{Fe}^{2+}$  dan air akan tereduksi menjadi ion  $\text{H}^+$  dan  $\text{OH}^-$ , dengan reaksi sebagai berikut :





Proses korosi logam besi dalam air akan menghasilkan karat besi  $2\text{Fe}(\text{OH})_2$  yang berwarna coklat dan menyebabkan menipisnya permukaan logam besi. Menipisnya permukaan logam akan mengurangi berat logam.

## 2. Korosi Logam Tak Sejenis ( Galvanik ).

Korosi logam tak sejenis terjadi karena adanya perbedaan potensial antara logam satu dengan logam lainnya bila dua logam digabungkan pada suatu elektrolit. Proses terjadinya korosi diawali dengan aliran elektron diantara dua logam yang diikuti dengan aliran listrik diantara dua logam. Logam yang mempunyai potensial rendah atau tahanan korosi rendah akan terkikis dan yang tahanan korosinya lebih tinggi atau potensialnya tinggi, akan mengalami penurunan daya korosinya. Logam yang mempunyai tahanan korosinya kecil disebut anodik dan akan menjadi logam aktif, sedangkan untuk logam yang tahanan korosinya lebih tinggi dan disebut katodik akan menjadi logam pasif. Semakin besar perbedaan potensial antara dua buah logam dalam larutan elektrolit akan semakin cepat pula aliran listrik atau aliran elektron yang terjadi dan korosi akan semakin cepat pula menjalar. Ada beberapa faktor yang berpengaruh dalam penyebaran korosi logam tak sejenis galvanis ini antara lain energi potensial dari logam (EMF), luas antara logam aktif atau anode dengan logam pasif atau katode dan jarak dua logam. Menurut Tabel 2.1 seri galvanis terlihat bahwa semakin dekat suatu logam pada magnesium, logam tersebut semakin kecil potensialnya sehingga akan lebih bersifat anodic dan aktif untuk bereaksi, sedangkan untuk logam yang mendekati platina potensialnya bertambah



besar serta akan bersifat lebih katodik. Prinsip terjadinya korosi galvanis inilah yang dijadikan dasar sistem kerja pencegahan korosi sistem anoda tumbal yaitu dengan mengorbankan anode (yang didalam kapal biasanya disebut zinc anode). Dan dari pernyataan yang ada kita dapat mengatakan bahwa efek penggandengan dua logam tak sejenis :

- Deret galvanik menyatakan bahwa logam lebih aktif akan menjadi anoda apabila gandengan itu, membentuk sebuah korosi basah, sementara logam yang lebih mulia akan menjadi katoda.
- Laju korosi logam lebih aktif mengalami percepatan, sementara laju korosi logam lebih mulia terhambat. Perlu diperhatikan bahwa katoda mungkin lebih masih terkorosi, tergantung besar polarisasi katodik yang diinduksikan.

*Tabel 2.1 Galvanic series dari beberapa logam dan paduan logam di air laut.  
[Mars G.Fontana,1986]*

---

Platinum
Gold
Graphite
Titanium
Silver
Chlorimet 3 (62 Ni, 18 Cr, 18 Mo )
Hastelloy C (62 Ni, 17 Cr, 15 Mo )
18-8 Mo Stainless Steel (passive)
18-8 Stainless Steel (passive)
Chromium Stainless Steel 11 –13% Cr (passive)
Inconel (passive) (80 Ni, 13 Cr, 7 Fe)
Nickel (passive)
Silver solder
Monel (70 Ni, 30 Cu)
Cupronickels (60-90 Cu, 40-10 Ni)
Bronzes (Cu – Sn)
Copper
Brasses (Cu – Zn)
Chlorimet 2 (66 Ni, 32 Mo, 1 Fe)
Hastelloy B (60 Ni, 30 Mo, 6 Fe, 1 Mn)
Inconel (active)
Nickel (active)
Tin





Lead  
Lead – tin solder  
18-8 Mo Stainless Steel (active)  
18-8 Stainless Steel (active)  
Ni-Resist (high Ni cast iron)  
Chromium Stainless Steel, 13% Cr (active)  
Cast iron  
Steel or Iron  
2024 aluminum (4.5 Cu, 1.5 Mg, 0.6 Mn)  
Cadmium  
Commercially pure aluminum (1100)  
Zinc  
Magnesium and magnesium alloys

---

### 3. Korosi Celah ( Crevice Corrosion )

Jenis korosi yang sering menyerang pada celah dan permukaan tertutup lainnya dari suatu logam yang terletak pada media korosi. Dimasa lampau, penggunaan korosi celah (crevice corrosion) dibatasi hanya untuk serangan terhadap paduan-paduan yang oksidanya terpasifkan oleh ion-ion agresif seperti klorida dalam celah-celah permukaan logam yang tersembunyi. Serangan dalam kondisi serupa terhadap logam tidak terpasifkan dahulu disebut korosi aerasi differensial. Sekarang orang cenderung mengabaikan perbedaan itu. Type dari kerusakan korosi ini adalah selalu dalam skala kecil dari larutan yang terperangkap. Oleh sebab itu korosi ini disebut juga korosi deposit atau gasket corrosion. Celah dari logam yang terdapat dalam media korosi, akan bersifat anoda dan akan terserang korosi, sedang bagian logam lainnya akan bertindak sebagai oksidanya. Jadi korosi jenis ini merupakan korosi lokal dengan serangan sangat hebat dan sulit terdeteksi sebab tidak tampak dari luar . Definisi yang baik dan umum untuk korosi celah adalah serangan yang terjadi karena sebagian



permukaan logam terhalang atau terasing dari lingkungan dibanding bagian lain logam yang menghadapi elektrolit dalam volume besar.

#### **4. Korosi Sumuran ( Pitting Corrosion ).**

Pitting Corrosion adalah bentuk pengkaratan yang terpusat pada satu titik dengan kedalaman tertentu. Korosi sumuran adalah korosi lokal yang secara selektif menyerang bagian permukaan logam yang :

- Selaput pelindungnya tergores atau retak akibat perlakuan mekanik,
- Mempunyai tonjolan akibat dislokasi atau slip yang disebabkan oleh tegangan tarik yang dialami atau yang tersisa,
- Mempunyai komposisi heterogen dengan adanya inklusi, segregasi atau presipitasi.

Korosi jenis ini serangannya relatif kecil dan kadang-kadang tertutup oleh kotoran sehingga seperti permukaan kasar saja dan sangat sulit dideteksi. Proses korosi lubang terbentuk sangat lambat dengan bentuk mengarah pada arah gravitasi. Jadi sementara korosi celah dipicu oleh beda konsentrasi oksigen atau ion – ion elektrolit, korosi sumuran (pada permukaan yang datar) hanya dipicu oleh faktor – faktor metalurgi.

#### **5. Korosi Tegangan ( Stress Corrosion ).**

Korosi tegangan akan terjadi pada saat material mendapat perlakuan pembentukan atau penyambungan, seperti bending, cutting atau welding. Dengan proses pembentukan dengan bending maupun cutting maka akan muncul





perbedaan tegangan dalam satu material, yang kemudian akan muncul aliran elektron pada material tersebut dan menyebabkan terjadinya korosi.

#### **2.1.6 KOROSI PADA PENGELASAN**

Pembuatan suatu sambungan dari dua atau lebih komponen pada suatu posisi/tempat tertentu dapat dilakukan sebagai berikut:

- a) dengan pengertian sebuah alat penguncian secara mekanis seperti sekrup dan baut atau paku keling.
- b) dengan cara pengelasan, pematrian, atau penyolderan.
- c) dengan sebuah bahan perekat.

Komponen dari suatu sambungan dapat berupa logam yang sejenis atau tidak sejenis struktur dan komposisinya, logam dan non logam atau keseluruhannya merupakan non logam, tetapi di sini yang kita tinjau adalah penyambungan dengan pengelasan pada logam. Dimana pada tahapan tertentu dari suatu pabrikasi manufaktur didominasi oleh proses penyambungan. Sehingga korosi akibat pengelasan pada logam menjadi sangat penting, dimana sifat alami logam terlibat dan geometri sambungan dapat menyebabkan bagian mana dari logam terkena korosi setempat.

Walaupun korosi pada galvanik melibatkan logam yang berbeda tetapi perlu juga diperhatikan untuk korosi penyambungan logam adalah perbedaan potensial dapat dihasilkan dari perbedaan pada struktur atau tegangan selama proses pengelasan ataupun proses selanjutnya setelah pengelasan.





Logam carbon manganese mendominasi struktur pada perkapalan dan bangunan lepas pantai dan digunakan secara luas berdasarkan atas range kemampuan mekanikal propertisnya yang sangat baik, mudah didapat, dan pertimbangan harga yang sesuai. Walaupun demikian, logam tersebut bukan logam yang memiliki keistimewaan tahan terhadap korosi pada media larutan garam. Proteksi terhadap korosi pada logam ini harus disediakan coating yang efektif (termasuk cladding dan sheating) atau proteksi katodik, tergantung pada keadaannya. Dan rencana pada proteksi tersebut akan menimbulkan biaya besar, baik pada saat biaya instalasi, saat perawatan dan meningkatnya biaya pada beberapa tahapan dari periode penggunaan instalasi tersebut.

Penyambungan dengan pengelasan berbeda dengan solder atau brazing, sebab pengelasan menghasilkan material homogen yang kontiyu dengan melibatkan atau tidak filler material sebagai penyambung. Ada banyak jenis proses yang mana pada umumnya mengaplikasikan energi termal untuk meleburkan logam yangn akan disambung.

Pemeriksaan makrografik dari sambungan pengelasan menunjukkan dua zona secara jelas, yaitu zona fusi dengan areanya mahkota las dan area dekat disekitarnya, dan zona logam induk. Lebih jauh dapat dijelaskan bahwa perbedaan dalam komposisi kimia terjadi akibat pembakaran elemen – elemen paduan secara tidak sengaja atau disengaja. Karateristik lainnya dari pengelasan adalah : [Sherir, Jarman & Burstein, 1994]

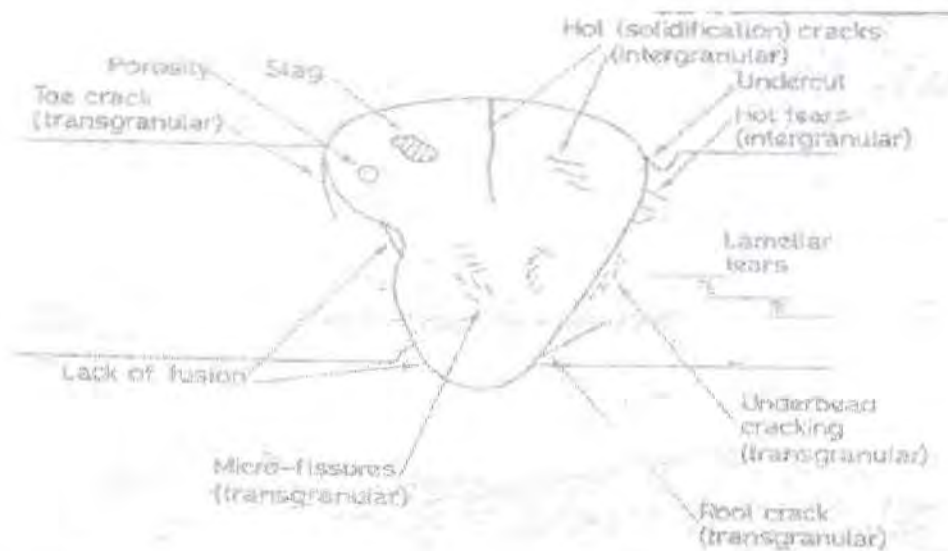


1. Menghasilkan suatu residual stress yang mana terjadi setelah pengelasan selesai dan pada daerah sekitar pengelasan, yang mana tegangan tersebut dapat mencapai hingga ke yield point.
2. Pada kasus pengelasan fusi, permukaan lapisan logam keadaannya kasar yang dapat menyebabkan tegangan meningkat dan sebagai tempat kondensasi (lembab).
3. Daerah sambungan ditutupi oleh kerak oksida dan memungkinkan lapisan tersebut secara kimia menjadi reaktif, terutama bila keadaan lembab.
4. Lapisan pelindung pada logam yang akan dilas akan terbakar habis sehingga mahkota las dan logam induk disekitarnya menjadi tidak terlindungi.

Oleh karena itu menggunakan pengelasan untuk proses fabrikasi dapat mengubah karakteristik korosi dari suatu struktur.

Pengelasan yang tanpa retak (crack) tidak mungkin untuk dihasilkan, ketika dilakukan proses fabrikasi dilakukan pada logam. Dan hasil lasnya bukan merupakan suatu material propertis yang spesifik tetapi merupakan kombinasi dari propertis logam induk, filler material (bila digunakan) dan faktor-faktor lainnya. Sebagai akibat dari struktur material yang biasanya memiliki hasil las yang tidak sempurna dapat menimbulkan cacat las pada mahkota las atau pada daerah HAZ (heat affected zone) seperti terlihat pada gambar 2.3. Yang dapat membahayakan sifat mekanik dan juga menimbulkan permasalahan korosi pada hasil las, seperti pitting corrosion pada slag inclusion yang dangkal pada hasil las dan korosi celah (crevice) pada cacat porosity atau retak (crack).



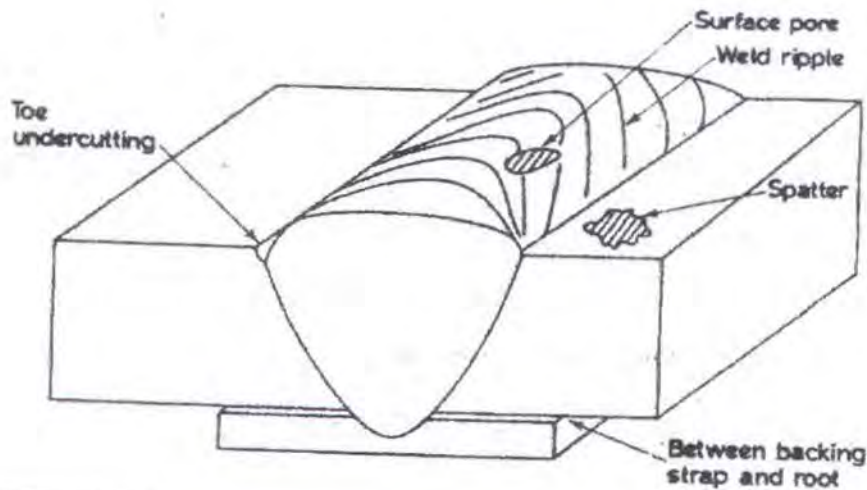


Gambar 2, 3. Cacat – cacat pada pengelasan. [Sherir, Jarman & Burstein, 1994]

Korosi celah pada pengelasan butt joint diakibatkan penetrasi yang buruk. Sebaliknya, bila terdapat mahkota las yang menonjol pada pengelasan pipa bagian dalam, erosi/korosi dapat terjadi akibat turbulence yang dihasilkan. Kejadian korosi celah lainnya yang dapat terjadi akibat jarak yang tidak benar pada pengelasan butt joint.

Pada kondisi tertentu hasil pengelasan dapat mengalami korosi akibat terjadinya fusion line crack pada daerah toe weld metal, yang disebut knifeline attack. Hal ini terjadi pada pengelasan baja stabil setelah mengalami asam kuat nitric yang panas. Terjadinya knifeline attack dapat diperkecil dengan membatasi kandungan carbon pada logam sampai 0,60 % maksimum. [Sherir, Jarman & Burstein, 1994]





Gambar 2. 4 Kemungkinan tempat terjadinya celah (crevice) pada pengelasan.  
[Sherir, Jarman & Burstein, 1994]

Untuk kondisi heat affected zone (HAZ) untuk knifeline attack akibat panas selama pengelasan dan lamanya waktu pada temperatur tersebut dapat secara kritis menyebabkan serangan pada kekerasan logam. Tetapi faktor ini berbeda dari satu juru las ke juru las lainnya.

Untuk stress corrosion cracking dikatakan berbahaya karena merupakan fenomena yang tersembunyi. Residual stress yang meningkat akibat pengelasan yang sering mencapai kondisi mendekati yield point, yang dapat diperparah oleh kontaminasi klorida pada lingkungan yang dapat menyebabkan terjadinya transgranular dan retak rambut. Cara yang paling baik untuk mengeliminasi masalah ini adalah dengan proses annealing untuk membebaskan residual stress dan menambahkan molybdenum pada logam.



### 2.1.7 POLARISASI

Suatu logam tidak berada dalam kesetimbangan dengan larutan yang mengandung ion-ionnya, potensial elektrodanya berbeda dari potensial korosi bebas dan selisih antara keduanya disebut polarisasi ( $\eta$ ). Polarisasi merupakan parameter yang penting untuk menentukan laju proses korosi. Dimana laju korosi diekspresikan sebagai berikut: [Trethwey, 1991]

$$v = k_{kor} \cdot [\text{reaktan}] \dots\dots\dots [2.1]$$

dengan

$$k_{kor} = A \cdot \exp(-\Delta G^{**} / RT) \dots\dots\dots [2.2]$$

(A sebagai tetapan). Dari persamaan [2.1] dan [2.2] disubstitusi menjadi :

$$v = A \times \exp\left(\frac{-\Delta G}{RT}\right) (\text{reaktan}) \dots\dots\dots [2.3]$$

Dalam keadaan setimbang, laju reaksi anoda adalah ( $i_a$ ) sama dengan laju reaksi katoda ( $i_c$ ), secara matematis ditulis sebagai berikut :

$$i_0 = i_a = -i_c$$

Maka persamaan [2.3] menjadi :

$$i_a = i_0 = A_0 \times \exp\left(\frac{-\Delta G}{RT}\right) \dots\dots\dots [2.4]$$

Polarisasi atau penyimpangan dari potensial kesetimbangan sama dengan gabungan polarisasi anoda pada logam dan polarisasi katoda pada lingkungannya.

Jika polarisasi keseluruhan adalah  $\eta$ , polarisasi anodanya  $\alpha\eta$  dan polarisasi katodanya  $(1 - \alpha)\eta$  maka pers. [2.4] menjadi :

$$i_0 = A_0 \times \exp\left(\frac{-\Delta G^{**} + \alpha\eta zF}{RT}\right) \dots\dots\dots [2.5]$$



$$= A_0 \times \exp\left(\frac{-\Delta G^{\#}}{RT}\right) \cdot \left(\frac{\alpha \eta zF}{RT}\right) \dots\dots\dots [2.6]$$

Bila pers. [2.4] disubstitusikan ke pers. [2.6]

$$i_a = i_0 A_0 \times \exp\left(\frac{\alpha \eta zF}{RT}\right) \dots\dots\dots [2.7]$$

Misalkan ;  $A = \alpha zF / RT$

maka pers. [2.7] menjadi

$$i_a = i_0 \exp . (A \eta) \dots\dots\dots [2.8]$$

Jika diambil logaritma menjadi :

$$\eta = \frac{2.303}{A} \lg \left( \frac{i_a}{i_0} \right) \dots\dots\dots [2.9]$$

misalkan  $\beta_a = 2,303 / A$

$$= 2,303 RT / \alpha zF$$

maka pers.[2.9] menjadi :

$$\eta_a = \beta_a \lg \left( \frac{i_a}{i_0} \right) \dots\dots\dots [2.10]$$

atau pers diatas menjadi :

$$\eta_a = \beta_a \log i_a - \beta_a \log i_0 \dots\dots\dots [2.11]$$

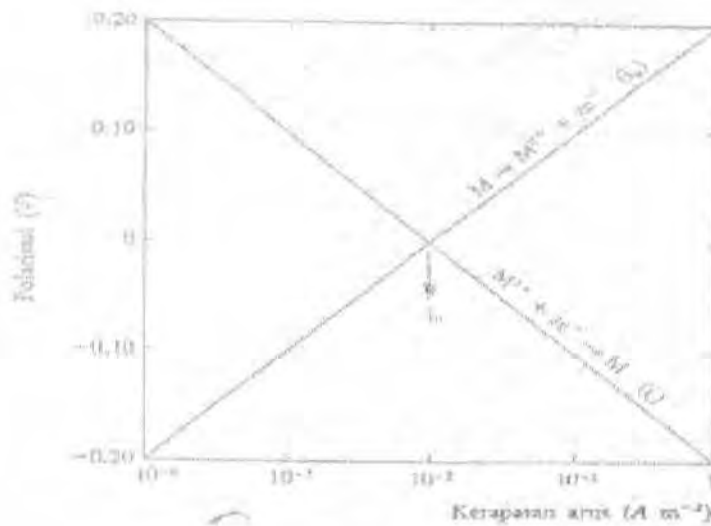
Persamaan [2.11] dikenal dengan persamaan Tafel dengan parameter anoda, jika harga  $\beta$  mengacu ke reaksi katoda menjadi :

$$\beta_c = 2,303 / A$$

$$= 2,303 RT / (1-\alpha) Zf$$

Tetapan –tetapan  $\beta_a$  dan  $\beta_c$  disebut tetapan anoda dan katoda Tafel





Gambar 2.5. Pengeplotan Tafel teoritis. [Trethwey, 1991]

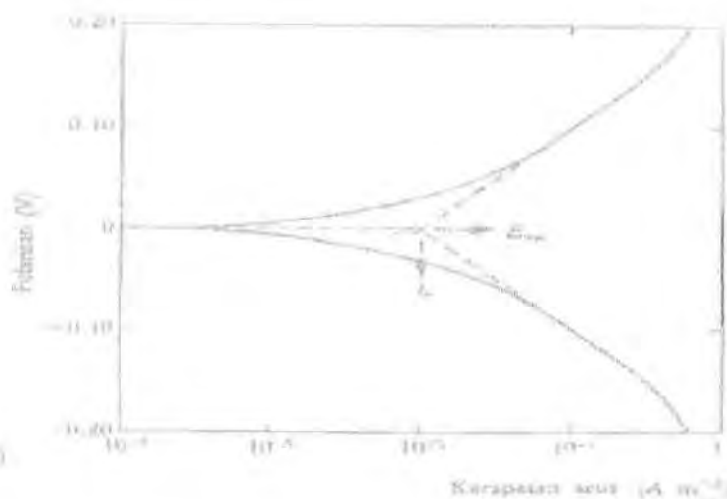
Cara Stern dan Geary dengan mengplot variasi polarisasi terhadap  $\log i$  baik untuk reaksi anoda maupun reaksi katoda. Perhitungan arus yang terukur adalah :

$$i_{ukur} = i_a - i_c$$

sehingga pers. [2.10] menjadi :

$$\eta_a = \beta_a \log \left( \frac{i_{ukur} + i_c}{i_0} \right) \dots\dots\dots [2.12]$$

bila  $i_{ukur} \gg i_c$  maka percobaan menunjukkan pengeplotan Tafel linear. Bila  $E_{kor}$ , yakni bila  $i_a$  kurang lebih sama dengan  $i_0$  maka harga kerapatan arus yang terukur jauh meninggalkan harga  $i_a$  yang sejati dan kita akan mendapatkan penyimpangan yang besar sekali dari perilaku linier. harga  $i_0$  dapat ditetapkan melalui ekstrapolasi terhadap bagian yang linear pada hasil pengeplotan polarisasi.



Gambar 2.6 Pengeplotan Tafel praktis yang diidealkan. [Trethwey, 1991]

Pada hukum Faraday rate korosi (mpy) adalah :  $K \frac{ai}{nD}$  [Trethwey, 1991]

dimana : D = Densitas ( gr/cm<sup>3</sup> )

K = Konstanta (0,129 dalam mpy )

a = Berat atom

n = Jumlah elektron yang bereaksi (valensi )

i = rapat arus (  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  )

konversi 1 mpy = 0,0254 mm/yr

## 2.2 DASAR TEORI PENGELASAN

### 2.2.1 LAS ELEKTRODA TERBUNGKUS

Las elektroda terbungkus adalah cara pengelasan yang banyak digunakan pada masa ini. Dalam cara pengelasan ini digunakan kawat elektroda logam yang dibungkus dengan fluks. Dalam gambar 2.7 dapat dilihat dengan jelas bahwa



busur listrik terbentuk di antara logam induk dan ujung elektroda. Karena panas dari busur ini maka logam induk dan ujung elektroda tersebut mencair dan kemudian membeku bersama.



Gambar 2.7. Las Busur dengan Elektroda Terbungkus.  
[Harsono, Okumura, 1996]

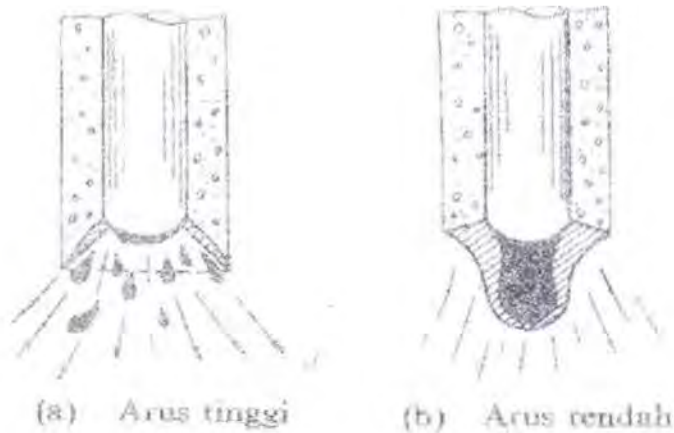
Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa oleh arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus listrik yang besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus seperti terlihat pada gambar 2.8a, sebaliknya bila arus kecil maka butirannya menjadi besar seperti tampak dalam gambar 2.8b.

Pola pemindahan logam cair seperti diterangkan diatas sangat mempengaruhi sifat mampu las dari logam. Secara umum dapat dikatakan bahwa logam mempunyai sifat mampu las tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus. Sedangkan pola pemindahan aliran dipengaruhi oleh besar kecilnya arus seperti diterangkan di atas dan juga oleh komposisi dari bahan fluks yang digunakan. Selama proses pengelasan bahan fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda mencair dan membentuk terak yang kemudian menutupi





logam cair yang terkumpul ditempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi. Dalam beberapa fluks bahannya tidak dapat terbakar, tetapi berubah menjadi gas yang juga menjadi pelindung dari logam cair terhadap oksidasi dan pemantapan busur.



Gambar 2.8. Pemindahan Logam Cair. [Harsono, Okumura, 1996]

Di dalam las elektroda terbungkus fluks memegang peranan penting karena fluks dapat bertindak sebagai:

- Pemantapan busur dan penyebab kelancaran pemindahan butir-butir cairan logam.
- Sumber terak atau gas yang dapat melindungi logam cair terhadap udara disekitarnya.
- Pengatur penggunaan.
- Sumber unsur-unsur paduan.

Fluks biasanya terdiri dari bahan-bahan tertentu dengan perbandingan yang tertentu pula. Bahan-bahan yang digunakan dapat digolongkan dalam bahan



pemantapan busur, pembuat terak, penghasil gas, deoksidator, unsur paduan dan bahan pengikat. Bahan-bahan tersebut antara lain oksida-oksida logam, karbonat, silikat, fluorida, zat organik, baja paduan dan serbuk besi. Beberapa fluks yang sering digunakan dan sifat-sifat utamanya dapat dilihat dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Macam dan Fungsi Bahan Fluks, , [Harsono & Okumura, 1996]

Pengaruh Bahan Fluks	Peman- tap busur	Pemben- tuk terak	Deoksi- dator	Oksi- dator	Pem- bentuk gas	Penambah- an unsur paduan	Penguat pembung- kus	Pengi- kat fluks
Selulosa			○		○		○	
Lempung Silikat	○	○						
Talek	○	○						
Titanium oksida	○	○						
Ilmenit	○	○						
Feroksida	○	○		○				
Kalsium karbonat	○	○		○	○			
Ferro mangan		○	○			○		
Mangan dioksida		○		○		○	○	
Pasir Silisium		○		○		○		
Kalium silikat	○	○						○
Natrium silikat	○	○						○

- Fungsi utama  
○ Fungsi tambahan

Elektroda las yang ada dipasaran biasanya dibungkus dengan campuran bahan-bahan fluks tertentu yang tergantung dari penggunaannya. Walaupun jenis elektroda sangat banyak jumlahnya, tetapi secara garis besar dapat digolongkan



dalam kelas-kelas berikut yang pembagiannya didasarkan atas fluks yang membungkusnya.

- a) *Jenis oksida titan*: jenis ini juga disebut rutil atau titania dan berisi banyak  $\text{TiO}_2$  didalamnya. Busur yang dihasilkan oleh elektroda yang dibungkus dengan fluks jenis ini tidak terlalu kuat, penetrasi atau penembusan cairan logamnya dangkal dan menghasilkan manik las yang halus. Karena itu jenis ini baik sekali untuk pengelasan pelat-pelat baja tipis atau untuk penelasan terakhir pada pengelasan pelat tebal.
- b) *Jenis titania kapur*: jenis ini di samping berisi rutil juga mengandung kapur. Disamping sifat-sifat seperti yang dimiliki oleh jenis oksida titan, jenis ini mempunyai keunggulan lain yaitu kemampuannya menghasilkan sifat mekanik yang baik. Walaupun penetrasinya dangkal masih juga dapat menghasilkan manik las yang agak halus. Jenis ini sesuai hampir untuk semua posisi pengelasan, terutama posisi tegak dan posisi atas kepala.
- c) *Jenis ilmenit*: jenis ini terletak diantara jenis oksida titan dan jenis oksida besi. Bahan fluksnya yang utama adalah ilmenit atau  $\text{FeTiO}_3$ . Busur yang dihasilkan agak kuat dan memberikan penetrasi yang cukup dalam. Derajat cairan dari terak yang terbentuk cukup tinggi. Dengan sifat tersebut jenis ini dapat menghasilkan sambungan yang mempunyai sifat mekanik yang tinggi. Karena sifat-sifatnya yang dapat mencakup penggunaan yang luas, maka elektroda yang





dibungkus dengan fluks jenis ini dianggap sebagai elektroda serba guna.

- d) *Jenis hidrogen rendah*: jenis ini kadang-kadang disebut juga dengan nama jenis kapur, karena bahan utama yang digunakan adalah kapur dan fluorat. Jenis ini menghasilkan sambungan dengan kadar hidrogen rendah, karena itu kepekaan sambungan terhadap retak sangat rendah, sehingga ketangguhannya sangat memuaskan. Hal-hal yang kurang menguntungkan adalah busur listriknya yang kurang mantap, sehingga butiran-butiran cairan yang dihasilkan agak besar bila dibandingkan dengan jenis-jenis lain. Karena itu dalam pelaksanaannya memerlukan juru las yang sudah berpengalaman dengan jenis tersebut. Karena fluks ini sangat baik dalam sifat mampu lasnya maka elektroda dengan jenis ini biasanya digunakan untuk konstruksi-konstruksi yang memerlukan tingkat pengamanan tinggi seperti konstruksi dengan pelat-pelat tebal dan bejana tekan.
- e) *Jenis selulosa*: jenis ini berisi kira-kira 30% zat organik yang dapat menghasilkan gas dengan volume besar yang kemudian melindungi logam cair. Busurnya kuat dan penetbusannya dalam. Terak yang terbentuk hanya sedikit karena itu amat baik untuk pengelasan tegak yang menurun. Karena banyaknya percikan-percikan yang terjadi maka jenis ini tidak dapat menghasilkan manik las yang halus, karena itu jenis ini tidak banyak digunakan lagi.



- f) *Jenis oksida besi*: bahan pokok untuk jenis ini adalah oksida besi. Busur yang dihasilkan terpusatkan dan penetrasinya dalam, karena itu jenis ini baik untuk pengelasan sudut horisontal. Walaupun demikian penggunaan elektroda jenis ini hanya sedikit sekali.
- g) *Jenis serbuk besi-oksida*: bahan utama dari fluks ini yang meliputi antara 15 sampai 50% adalah silikat dan serbuk besi. Pemindahan butir-butir cairan berupa semburan halus dan tidak banyak percikan. Kecepatan pengisian sangat tinggi karena itu efisiensinya juga baik. Jenis ini banyak sekali digunakan untuk pengelasan sudut horisontal dan pengelasan gaya berat.
- h) *Jenis serbuk besi-titania*: jenis ini menimbulkan busur yang sedang dan menghasilkan manik las yang halus. Karena didalamnya berisi serbuk besi maka efisiensi pengelasan menjadi tinggi. Elektroda dengan fluks ini sangat baik untuk pengelasan sudut horisontal satu lapis.

Di negara-negara industri, elektroda las terbungkus sudah banyak yang distandarkan berdasarkan penggunaannya. Standard di Amerika Serikat (ASTM) didasarkan pada standard asosiasi las Amerika (AWS). Beberapa elektroda untuk lunak standard AWS dapat dilihat pada Tabel 2.3.



Tabel 2.3 Spesifikasi Elektroda Terbungkus dari Baja Lunak.  
[Harsono, Okumura, 1996]

Klasifikasi AWS-ASTM	Jenis Fluks	Posisi* pengelasan	Jenis Listrik	Kekuatan tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	Kekuatan luluh (kg/mm <sup>2</sup> )	Perpan- jangan (°)
Kekuatan tarik terendah kelompok E 60 setelah dilaskan adalah 60.000 psi atau 42,2 kg/mm <sup>2</sup>						
E6010.....	Natrium selulosa tinggi	F, V, OH, H	DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6011.....	Kalium selulosa tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6012.....	Natrium titanis tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas lurus	47,1	38,7	17
E6013.....	Kalium titanis tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda	47,1	38,7	17
E6020.....	Oksida besi tinggi	H-S F	AC atau DC polaritas lurus AC atau DC polaritas ganda	43,6	35,2	25
E6027.....	Serbuk besi, oksida besi	H-S F	AC atau DC polaritas lurus AC atau DC polaritas ganda	43,6	35,2	25
Kekuatan tarik terendah kelompok E70 setelah dilaskan adalah 70.000 psi atau 49,2 kg/mm <sup>2</sup>						
E7014.....	Serbuk besi, titanis	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda			17
E7015.....	Natrium hidrogen rendah	F, V, OH, H	DC polaritas balik			22
E7016.....	Kalium hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik			22
E7018.....	Serbuk besi, hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	50,6	42,2	22
E7024.....	Serbuk besi, titanis	H-S, F	AC atau DC polaritas ganda			17
E7028.....	Serbuk besi, hidrogen rendah	H-S, F	AC atau DC polaritas balik			22

Klasifikasi AWS-ASTM	Kekuatan tumbuk terendah
E6010, E6011.....	
E6027, E7015.....	2,8 kg-m pada 28,9°C
E7016, E7018.....	
E7028.....	2,8 kg-m pada 17,8°C
E6012, E6013.....	
E6020, E7014.....	tidak disyaratkan
E7024.....	

\*1 Arti simbol: F = datar  
V = vertikal  
OH = atas kepala  
H = horizontal  
H-S = horizontal las sudut

Standarisasi elektroda didasarkan pada jenis fluks, posisi pengelasan dan arus las. Dalam standard AWS huruf E menunjukkan elektroda yang dimaksud adalah elektroda terbungkus. Dua angka pertama menunjukkan kekuatan terendah dari logam las dalam satuan (psi). Dua angka terakhir menunjukkan jenis fluks dan posisi pengelasan.





## 2.2.2 SIKLUS TERMAL DAERAH LASAN

Daerah lasan terdiri dari 3 bagian yaitu logam lasan (weld metal), daerah pengaruh panas (heat affected zone disingkat menjadi HAZ) dan logam induk yang tidak terpengaruhi (base metal). Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Daerah pengaruh panas atau HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Logam induk tak terpengaruhi adalah bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Di samping ketiga pembagian utama tersebut masih ada satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dan daerah pengaruh panas, yang disebut batas las. Dalam membahas siklus termal daerah lasan hal-hal yang perlu dibahas meliputi proses pembekuan, reaksi yang terjadi dan struktur mikro yang terbentuk:

### 1) Pembekuan Dan Struktur Logam Las

Dalam pengelasan cair bermacam-macam cacat terbentuk dalam logam las, misalnya pemisahan atau segegrasi, lubang halus dan retak. Banyaknya dan macamnya cacat yang terjadi tergantung dari pada kecepatan pembekuan.

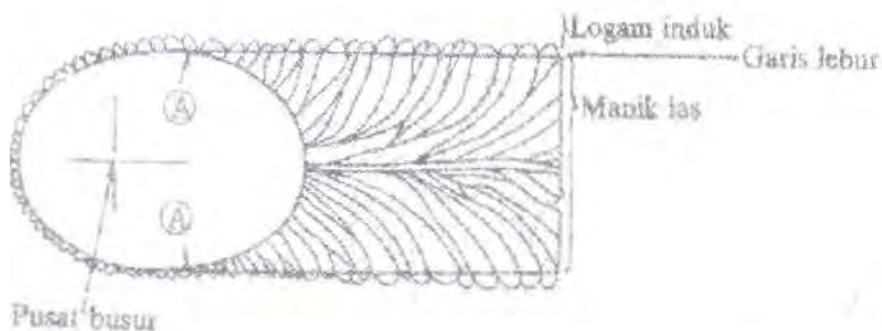
Semua kejadian selama proses pendinginan dalam pengelasan hampir sama dengan pendinginan dalam pengecoran. Perbedaannya adalah:

- Kecepatan pendinginan dalam las lebih tinggi.
- Sumber panas dalam las bergerak terus.



- Dalam proses pengelasan, pencairan dan pembekuan terjadi secara terus menerus.
- Pembekuan logam las mulai dari dinding logam induk yang dapat dipersamakan dengan dinding cetakan pada pengecoran, hanya saja dalam pengelasan, logam las harus menjadi satu dengan logam induk, sedangkan dalam pengecoran yang terjadi harus sebaliknya.

Dalam gambar 2.9 ditunjukkan secara skematik proses pertumbuhan dari kristal-kristal logam las yang berbentuk pilar. Titik A dari gambar tersebut adalah titik mula dari struktur pilar yang selalu terletak dalam logam induk. Titik ini tumbuh menjadi garis lebur dengan arah yang sama dengan gerakan sumber panas. Pada garis lebur sebagian dari logam dasar turut mencair dan selama proses pembekuan las tumbuh pada butir-butir logam induk dengan sumbu kristal yang sama.



Gambar 2.9 Arah Pembekuan dari Logam Las. [Harsono, Okumura, 1996]



## 2) Reaksi Metalurgi Yang Terjadi Dalam Pembekuan

Beberapa reaksi metalurgi yang terjadi dalam pembekuan adalah sebagai berikut :

- **Pemisahan**

Di dalam logam las terdapat tiga jenis pemisahan, yaitu pemisahan makro, pemisahan gelombang dan pemisahan mikro. Pemisahan makro adalah perubahan komponen secara perlahan-lahan yang terjadi mulai dari sekitar garis lebur menuju ke garis sumbu las, sedangkan pemisahan gelombang adalah perubahan komponen karena pembekuan yang terputus yang terjadi pada proses terbentuknya gelombang manik las. Pemisahan mikro adalah perubahan komponen yang terjadi dalam satu pilar atau dalam bagian dari satu pilar.

- **Lubang-lubang Halus**

Lubang-lubang halus terjadi karena adanya gas yang tidak larut dalam logam padat. Lubang-lubang tersebut disebabkan karena tiga macam cara pembekuan gas sebagai sebagai berikut: yang pertama adalah pelepasan gas karena perbedaan batas kelarutan antara logam cair dan logam padat pada suhu pembekuan, yang kedua adalah terbentuknya gas karena adanya reaksi kimia di dalam logam las dan yang ketiga penyusupan gas kedalam atmosfer busur.

Gas yang terbentuk karena perbedaan batas kelarutan dalam baja adalah gas hidrogen dan gas nitrogen, sedangkan yang terjadi





karena reaksi adalah terbentuknya gas CO dalam logam cair dan yang yang menyusup dalam gas-gas pelindung atau udara yang terkurung dalam akar kampuh las.

- **Proses Deoksidasi**

Sebenarnya hanya sejumlah kecil oksigen yang larut dalam baja, tetapi karena tekanan disosiasi dari kebanyakan oksida sangat rendah, maka pada umumnya akan terbentuk oksida-oksida yang stabil. Karena pengukuran yang tepat untuk mengetahui jumlah oksigen yang larut dalam baja sangat sukar, maka untuk melepaskan oksigen dari larutan, biasanya dilakukan usaha-usaha seperti menghilangkan oksida. Proses menghilangkan oksida ini disebut proses deoksidasi atau proses reduksi. Proses ini berguna untuk menarik kembali oksigen dari pori-pori oksida yang ada dalam cairan logam. Caranya ialah dengan mengikat kembali unsur-unsur kimia lain yang lebih mudah bersenyawa dengan oksida dari pada besi. Biasanya dipakai unsur Si dan Mn dimana bahan ini dicampurkan ke dalam lapisan elektroda (fluks) dari hasilnya akan keluar sebagai senyawa slag tanpa Fe contohnya dapat dilihat pada rumus sebagai berikut:

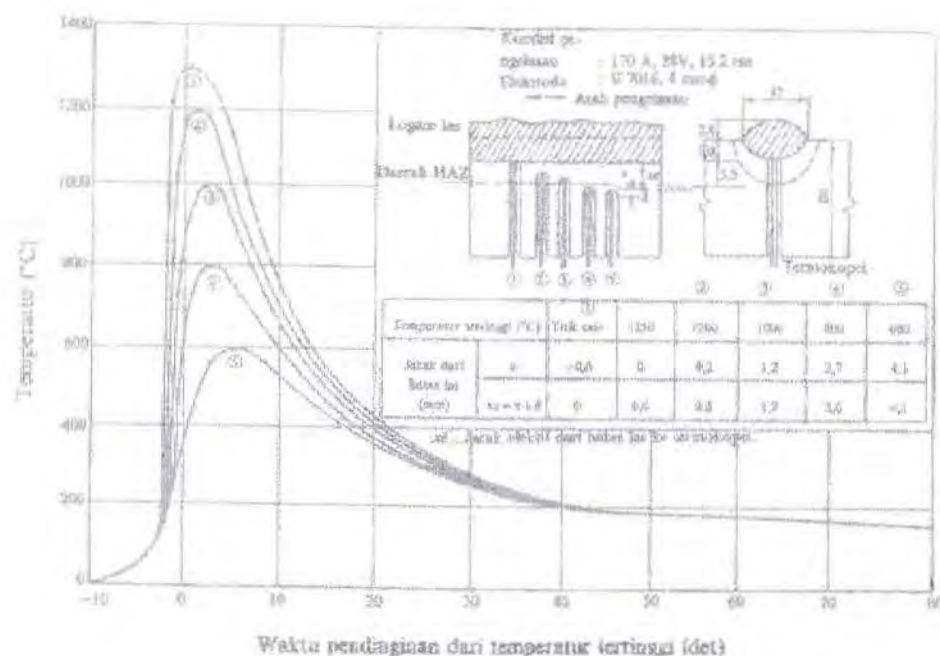




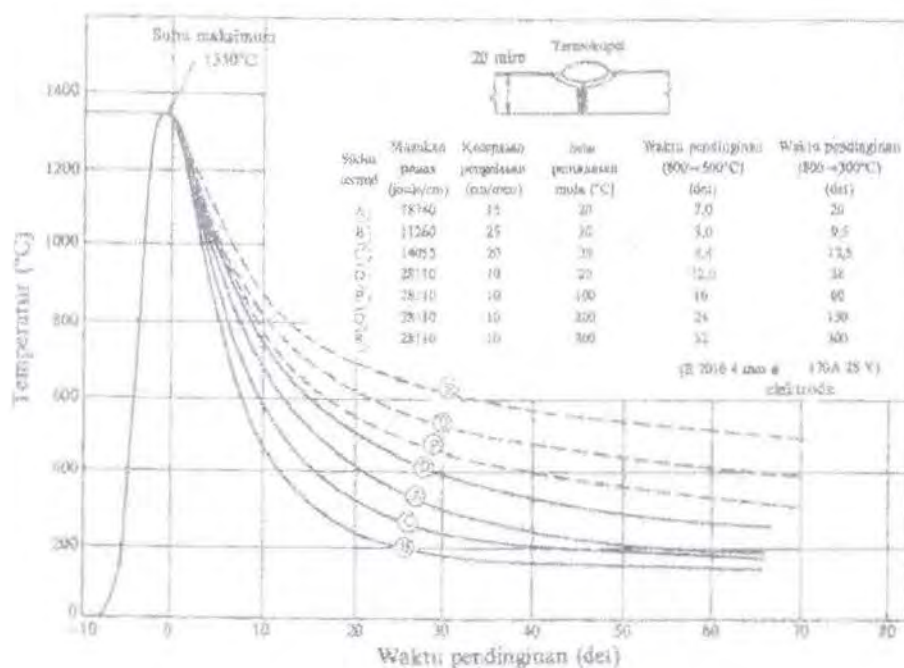
Kadar oksigen dalam baja tergantung pada kadar Si, Mn dan lain-lainnya. Dalam baja kil kira-kira 0,01% dan dalam baja rim kira-kira 0,02%. Sebaliknya kadar oksigen dalam logam las sangat tergantung dari fluks yang digunakan, misalnya pengelasan busur dengan fluks oksida besi atau ilmenit kadar oksigen akan mencapai antara 0,08% sampai 0,12%, pada las busur rendam dengan fluks basa akan mencapai antara 0,02% sampai 0,04% dan antara 0,01 sampai 0,02% dalam las TIG atau las las MIG. Ketangguhan logam las turun dengan naiknya kadar oksigen, karena itu harus selalu diusahakan agar logam las mempunyai kadar oksigen serendah-rendahnya. Usaha penurunan oksigen ini dapat dilakukan dengan menambah unsur-unsur yang bersifat deoksidasi seperti Si, Mn, Al dan Ti atau menaikkan kebasaan dari terak lasnya.

### 3) Siklus Termal Las

Siklus termal las adalah proses pemanasan dan pendinginan di daerah lasan. Sebagai contoh dalam gambar 2.10 dan 2.11, ditunjukkan siklus termal daerah lasan dari las busur listrik dengan elektroda terbungkus. Dalam gambar 2.9, dapat dilihat siklus termal dari beberapa tempat dalam daerah HAZ dengan kondisi pengelasan tetap. Sedangkan gambar 2.10 menunjukkan siklus termal disekitar lasan dengan kondisi pengelasan yang berbeda.



Gambar 2.10 Siklus Termal Las pada Beberapa Jarak dari Batas Las.  
[Harsono, Okumura, 1996]



Gambar 2.11 Siklus Termal dalam Las Busur Tangan.  
[Harsono, Okumura, 1996]





Lamanya pendinginan dalam suatu daerah temperatur tertentu dari suatu siklus termal las sangat mempengaruhi kualitas sambungan. Karena itu banyak sekali usaha-usaha pendekatan untuk menentukan lamanya lamanya waktu pendinginan tersebut. Pendekatan ini biasanya dinyatakan dalam bentuk rumus empiris atau nomograf.

Struktur mikro dan sifat mekanik dari daerah HAZ sebagian besar tergantung pada lamanya pendinginan dari temperatur  $800^{\circ}\text{C}$  sampai  $500^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan retak dingin, dimana hidrogen memegang peranan penting, terjadi sangat tergantung oleh lamanya pendinginan dari temperatur  $800^{\circ}\text{C}$  sampai  $300^{\circ}$  atau  $100^{\circ}\text{C}$ .

### 2.2.3 PENGELASAN LOGAM MILD STEEL

Baja karbon rendah yang disebut juga baja lunak banyak sekali digunakan untuk konstruksi umum. Baja karbon ini dibagi lagi dalam baja kil, baja rim, dimana penamaannya didasarkan atas persyaratan deoksidasi, cara pembekuan dan distribusi rongga atau lubang halus didalam ingot. Klasifikasi baja menurut tingkat deoksidasinya dapat dilihat dalam Tabel 2.6.

Faktor-faktor yang sangat mempengaruhi mampu las dari baja karbon rendah adalah kekuatan takik dan kepekaan terhadap retak las.

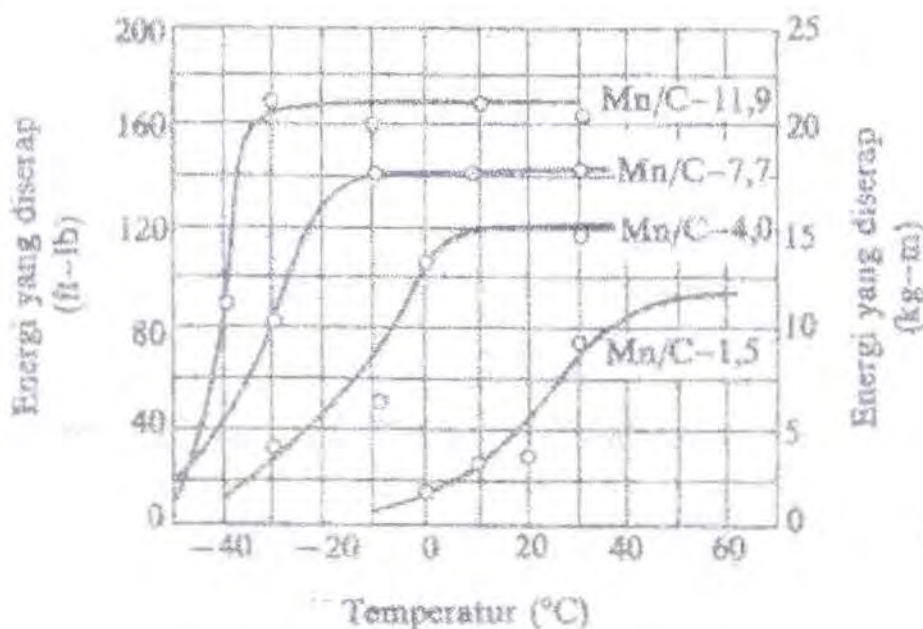
Kekuatan takik pada baja karbon rendah dapat dipertinggi dengan menurunkan kadar karbon C dan menaikkan kadar Mangan Mn. Suhu transisi dari kekuatan takik menjadi turun dengan naiknya harga perbandingan Mn/C. Perubahan kekuatan takik ini ditunjukkan dalam gambar 2.12.



Tabel 2.4. Klasifikasi Baja Menurut Tingkat Deoksidasi.  
[Harsono, Okumura, 1996]

Kelas Baja	Tingkat Deoksidasi	Jenis Baja	Komposisi Kimia (%)			Cara Deoksidasi	Rongga Halus	Pemisahan	Rongga Penyusutan
			C	Si	Mn				
Baja rim	Rendah	Baja karbon rendah	<0,3	<0,01	0,25-0,45	Fe-Mn	Banyak	Banyak	Sedikit sekali
Baja semi-kil	Sedang	Baja karbon	<1,0	0,01-0,1	0,45-0,8	Fe-Mn Fe-Si (dalam tungku)	Sedikit	Sedikit	Sedikit
Baja kil	Tinggi	Baja karbon khusus	<1,5	>0,10	>0,3	Fe-Si, Al (dalam ladle)	Hampir tidak ada	Sedikit sekali	Banyak

Baja karbon rendah mempunyai kepekaan retak las yang rendah bila dibandingkan dengan baja karbon lainnya atau dengan baja karbon paduan. Tetapi retak las pada baja ini dapat terjadi dengan mudah pada pengelasan pelat tebal atau didalam baja tersebut terdapat belerang bebas yang cukup tinggi.



Gambar 2.12. Pengaruh Perbandingan Mn/C Terhadap Kurva Transisi.  
[Harsono, Okumura, 1996]





Baja karbon rendah dapat dilas dengan semua cara pengelasan yang ada di dalam praktek dan hasilnya akan baik bila persiapannya sempurna dan persyaratannya dipenuhi. Pada kenyataannya baja karbon rendah adalah baja yang mudah dilas.

Retak las yang mungkin terjadi pada pengelasan pelat tebal dapat dihindari dengan pemanasan mula atau dengan menggunakan elektroda hidrogen rendah.

## 2.3 KRISTALISASI DAN CACAT KRISTAL

### 2.3.1 KRISTALISASI

Kristalisasi yaitu proses pembentukan kristal, yang terjadi pada saat pembekuan, perubahan fase cair ke fase padat. Dilihat dari mekanismenya kristalisasi terjadi melalui dua tahap:

1. Pembentukan inti atau pengintian (nucleation).
2. Pertumbuhan kristal (crystal growth).

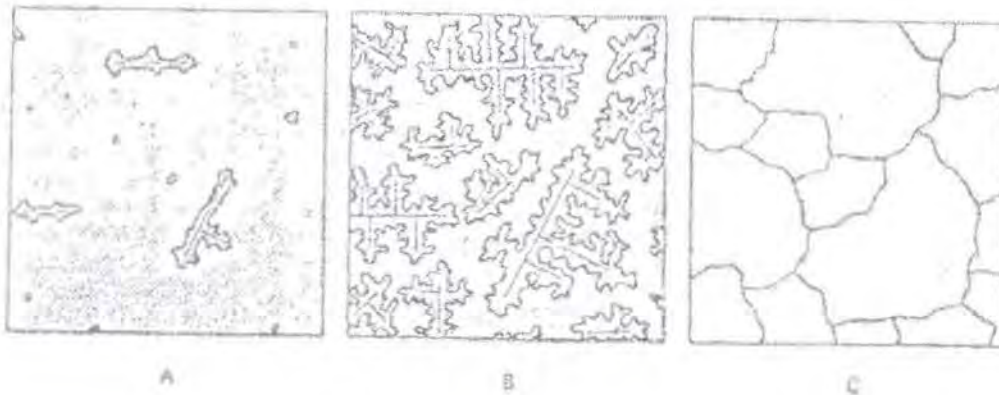
Dalam keadaan cair atom-atom tidak memiliki susunan teratur tertentu, selalu mudah bergerak. Dalam keadaan cair temperaturnya relatif tinggi dan atom memiliki energi cukup banyak sehingga mudah bergerak, tidak ada pengaturan letak atom relatif terhadap atom lain.

Dengan turunnya temperatur maka energi atom makin rendah dan makin sulit bergerak dan mulai mencair/mengatur kedudukannya relatif terhadap atom lain, mulai membentuk lattice (kisi). Ini terjadi pada tempat yang relatif lebih dingin dimana sekelompok atom menyusun diri membentuk inti kristal.





Inti-inti ini akan menjadi pusat dari proses kristalisasi selanjutnya. Dengan makin turunnya temperatur makin banyak atom yang ikut bergabung dengan inti yang sudah ada atau membentuk inti baru. Setiap inti akan tumbuh dengan menarik atom-atom lain dari cairan atau dari inti yang tidak sempat tumbuh, untuk mengisi tempat kosong pada lattice yang akan dibentuk.



*Gambar 2.13 Tiga tahap dendritic solidification pada logam.  
[Suherman, 1987]*

Pertumbuhan ini berlangsung dari tempat yang lebih dingin menuju tempat yang lebih panas. Pertumbuhan ini tidak bergerak lurus saja, tetapi mulai membentuk cabang-cabang dan ranting-ranting, struktur seperti ini disebut struktur dendrit. Dendrit ini terus ini terus bertumbuh kesegala arah sehingga cabang/ranting dendrit hampir bersentuhan dan sisa cairan yang terakhir akan membeku disela-sela dendrit ini

Pertemuan satu dendrit kristal dengan lainnya dinamakan batas butir kristal (grain boundary) yang merupakan bidang yang membatasi antara 2 kristal. Batas butir adalah tempat dimana terdapat ketidak-teraturan susunan atom



(mismatch) disamping juga biasanya mengandung unsur-unsur ikutan (impurity) lebih banyak.

### 2.3.2 CACAT KRISTAL

Kita mempunyai kecenderungan untuk mengandaikan bahwa ketika logam membeku mempunyai struktur kisi kristal yang sangat tertata, tetapi dalam proses pembuatan sebuah logam jarang mempunyai komposisi atau struktur yang betul-betul seragam, baik ditinjau secara makroskopik maupun mikroskopik. Sehingga logam mengalami cacat yang dapat dijumpai dalam struktur logam.

Cacat adalah bentuk penyimpangan dari kisi-kisi kristal sempurna dan adanya cacat bisa menguntungkan dan bisa merugikan terhadap rekayasa logam. Sebagai contoh gerak dislokasi mendatangkan sifat mulur yang bermanfaat namun dipihak lain cacat volume seperti retak misalnya, menyebabkan logam patah ketika mengalami tegangan yang lebih rendah dari semestinya.

Banyak macam cacat yang diakibatkan atau dipengaruhi oleh perlakuan mekanik yang diterima selama pengerjaan dan pabrikasi. Sifat dapat ditempah yang dimiliki oleh logam mengandung arti bahwa proses tersebut dapat mengakibatkan perubahan bentuk yang tidak tanggung-tanggung pada butir-butir kristal, seperti retak atau patah pada bagian kisi yang semula sempurna. Juga cacat-cacat logam sebagai akibat perlakuan termal proses pengelasan pada daerah sekitar panas (HAZ) dan semua proses pemanasan dan pendinginan yang ada pada proses pabrikasi.



Macam – macam cacat kristal yang dapat terjadi antara lain :

### 1. Cacat Titik

Cacat ini lebih dikenal sebagai cacat atom tunggal dan peranannya dalam proses teori paduan untuk menyempurnakan sifat-sifat mekanik logam. Cacat-cacat ini juga mempunyai peranan penting dalam mekanisme korosi dan cacat ini dibagi menjadi tiga :

#### a. Cacat Kekosongan ( Vacancy )

Yaitu hilangnya sebuah atom pada kedudukannya pada kisi.

#### b. Cacat Substitusi ( Substitution Defect )

Yaitu adanya atom asing yang menempati suatu kedudukan pada kisi yang semestinya diisi oleh atom tuan rumah.

#### c. Cacat Intertisi ( Interstitial Defect )

Yaitu atom tidak menempati kedudukan yang normal sehingga atom yang lain terdesak.

### 2. Cacat Garis

Cacat ini terjadi di dalam struktur butir ketika bidang-bidang atom tidak menempati kedudukan sempurna pada kisi. Cacat ini dibagi menjadi dua :

#### a. Dislokasi Tepi ( Edge Dislocation )

Yaitu adanya sebuah bidang atom tidak sempurna diantara dua bidang lainnya





b. Dislokasi Ulir ( Screw Dislocation )

Yaitu adanya bidang yang menyerong sedikit sehingga tidak searah lagi dengan bidang-bidang terdekat.

3. Cacat Volume

Cacat yang mempengaruhi logam pada skala makroskopik. Dan volume logam tidak bersesuaian dengan struktur keseluruhan bahan sejenis yang terbentuk sempurna. Cacat ini dibagi menjadi tiga :

a. Renik ( Voids )

Cacat ini berupa rongga-rongga kecil dalam bahan. Yang mungkin disebabkan terjebaknya udara, pelepasan gas selama proses penuangan logam atau butir-butir embun yang menguap begitu bersentuhan dengan logam cair, dan akibat pengerutan antar dendritik selama pembekuan.

b. Retak ( Crack )

Yaitu akibat tidak meratanya pendinginan atau timbulnya tegangan-tegangan di dalam cetakan, retak juga terjadi akibat penempaan pada daerah dekat dengan las-lasan akibat pengaruh distribusi termal yang tidak merata.

c. Inklusi

Yaitu terjebaknya partikel-partikel asing di dalam padatan logam yang bukan bagian dari struktur kristal logam itu sendiri

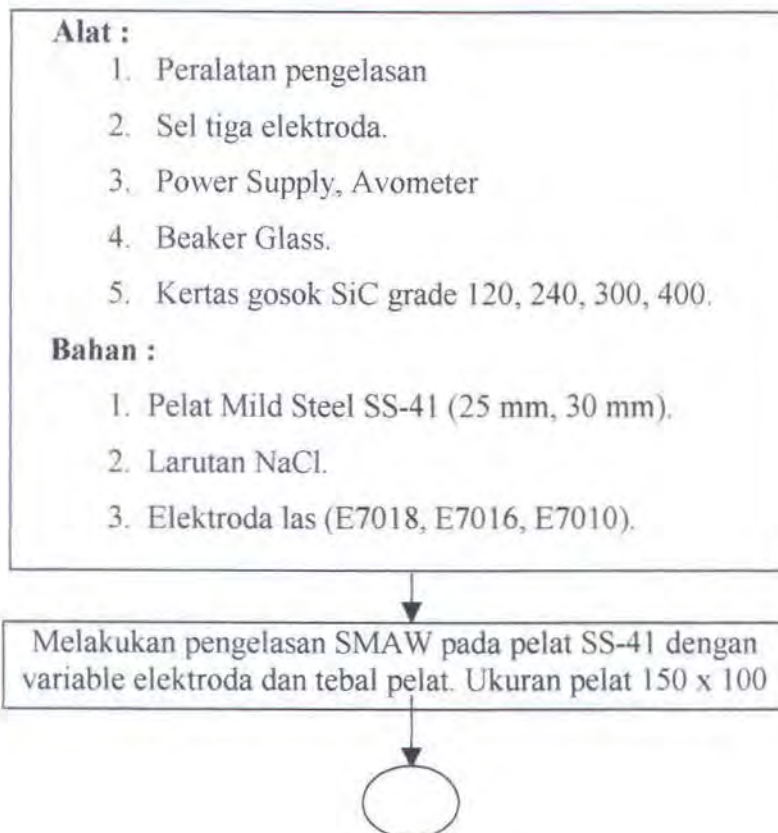
## BAB III

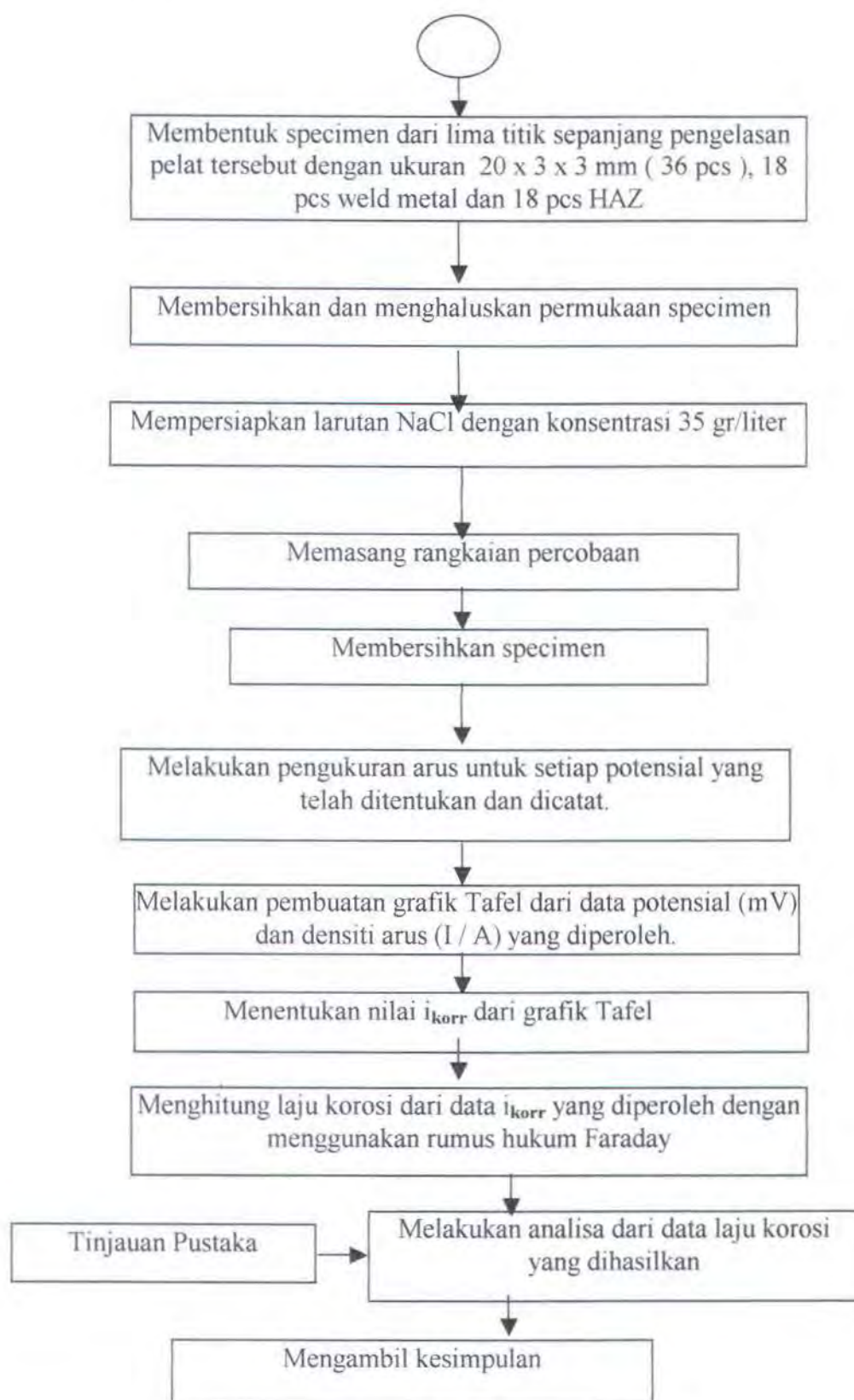
### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 PENDAHULUAN

Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh jenis elektroda (E7010, E7016 dan E7018) terhadap laju korosi. Variabel tebal pelat juga disertakan dalam penelitian ini untuk mengetahui perilaku laju korosi weld metal dan HAZ hasil dari pengelasan dengan menggunakan elektroda-elektroda tersebut dengan bertambahnya tebal pelat. Pengukuran laju korosi dilakukan dengan metode polarisasi. Alur proses percobaan dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah ini.

#### Bagan Alur Proses Percobaan





Gambar 3.1. Bagan alur proses percobaan.





## 3.2 VARIABEL

### 1. Elektroda las

Elektroda yang digunakan dalam penelitian ini klasifikasi **AWS A5.1-78** dan produk dari **ESAB**

#### a) Elektroda **E 7016 (OK 53.04)**

Chemical composition of weld metal ( % )

C	Si	Mn
0,07	0,6	1,0

#### b) Elektroda **E 7018 (OK 48.04)**

Chemical composition of weld metal ( % )

C	Si	Mn
0,1	0,4	1,2

#### c) Elektroda **E 7010 (OK 22.46)**

Chemical composition of weld metal ( % )

C	Si	Mn	Mo	Ni
0,1	0,18	0,31	0,24	0,53

### 2. Ketebalan Pelat.

a) Pelat SS-41 tebal 25 mm

b) Pelat SS-41 tebal 30 mm



### 3.3 BAHAN.

1. Pelat Mild Steel SS-41
2. Larutan NaCl (salinitas 35 gr/liter)
3. Elektroda las (E 7018, E 7016, E 7010)

### 3.4 PERALATAN.

1. Peralatan pengelasan

Peralatan pengelasan yang diperlukan untuk pengelasan SMAW.

2. Sel tiga – elektroda

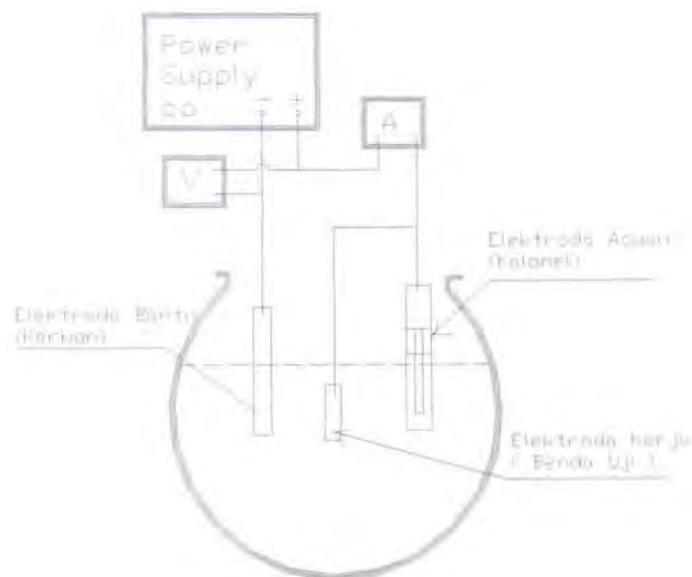
Sel tiga – elektroda adalah perangkat laboratorium baku untuk penelitian kuantitatif terhadap sifat – sifat korosi bahan – bahan.

Dengan komponen – komponen sel tersebut adalah:

***Elektroda Kerja (Working electrode).*** Sebutan ini diberikan kepada elektroda yang sedang diteliti.

***Elektroda Pembantu (Counter electrode).*** Yaitu elektroda untuk mengangkut arus dalam rangkaian yang terbentuk dalam penelitian. Elektroda ini tidak diperlukan dalam pengukuran potensial. Biasanya batang carbon, platina atau emas.

***Elektroda Acuan (Reference electrode).*** yaitu elektroda sebagai titik dasar untuk referensi untuk pengukuran – pengukuran potensial elektroda kerja. Arus yang melalui elektroda ini harus sekecil – kecilnya sehingga dapat diabaikan. Bila tidak elektroda ini akan ikut dalam reaksi sel dan potensialnya tidak konstan. Elektroda acuan yang paling praktis adalah elektroda kalomel jenuh.



Gambar 3.2. Sel tiga elektroda

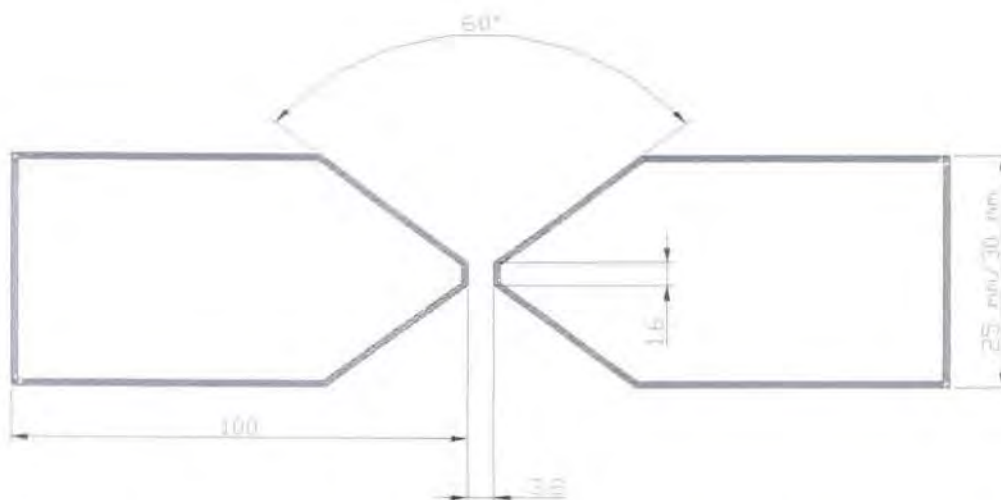
3. Beaker Glass.
4. Power Supply.
5. Voltmeter.
6. Ampermeter.
7. Kertas gosok.

### 3.5 PROSEDUR PENELITIAN.

#### 1. Persiapan Material Uji

- a. Melakukan pengelasan SMAW pada pelat Mild Steel SS-41 ukuran 150 x 100 x 25 mm sebanyak 3 pasang dan 150 x 100 x 30 mm sebanyak 3 pasang. Setiap pasang dari variabel tebal tersebut menggunakan elektroda E7018, E7016, E7010.





Gambar 3.3. Penampang melintang pelat Mild Steel untuk proses pengelasan

Tabel 3.1 Parameter pengelasan untuk elektroda .

Tebal Pelat (mm)	Bentuk Alur dan Urutan Pengisian	Elektroda E7018, E7016, E7010		Parameter		
		Diameter (mm)	Lapisan	Arus (Amp)	Tegangan (Volt)	Kecepatan (cm/men)
25		3.2	1	95 - 100	25 - 30	8.8 - 9.8
		4	2	130 - 145	25 - 30	8.8 - 9.8
		4	3	130 - 145	25 - 30	8.8 - 9.8
		4	4	130 - 145	25 - 30	8.8 - 9.8
		4	5	130 - 145	25 - 30	8.8 - 9.8
		4	6	130 - 145	25 - 30	8.8 - 9.8
		4	7	130 - 145	25 - 30	8.8 - 9.8
30		3.2	1	95 - 100	25 - 30	8.8 - 9.8
		4	2	130 - 145	25 - 30	8.8 - 9.8
		4	3	130 - 145	25 - 30	8.8 - 9.8
		4	4	130 - 145	25 - 30	8.8 - 9.8
		4	5	130 - 145	25 - 30	8.8 - 9.8
		4	6	130 - 145	25 - 30	8.8 - 9.8
		4	7	130 - 145	25 - 30	8.8 - 9.8
		4	8	130 - 145	25 - 30	8.8 - 9.8
		4	9	130 - 145	25 - 30	8.8 - 9.8



Dalam pelaksanaan pengelasan pelat mild steel, welding current dan welding voltage besarnya diatur hanya berdasarkan setting pada kontrol panel mesin las.

- b. Melakukan pemotongan pada pelat Mild Steel setelah pengelasan pada weld metal dan HAZ dengan ukuran: 20 x 3 x 3 mm sebanyak masing-masing 3 spesimen pada tiap material hasil las. Jumlah keseluruhan sepecimen 36 buah.
- c. Membersihkan dan menghaluskan permukaan dengan kertas gosok SiC grade 120, 240, 300, 400.

## **2. Persiapan Larutan**

Mempersiapkan larutan NaCl sebagai larutan pengkorosif dengan konsentrai 35 gr/liter pada gelas beaker.

## **3. Pelaksanaan Percobaan**

Metoda percobaan untuk menghitung laju korosi adalah dengan polarisasi (polarization) dengan menggunakan standar ASTM (ASTM sec 03, vol 03.02, G5-94, 'Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements). Metode perendaman yang digunakan adalah *total immersion* yaitu perendaman keseluruhan spesimen. Langkah-langkah pelaksanaan percobaan:

1. Memasang rangkaian percobaan seperti pada gambar diatas.



2. Memasang spesimen untuk dilakukan percobaan. Mencatat potensial rangkaian pada saat arus sama dengan nol. Potensial tersebut sebagai potensial korosi ( $E_{kor}$ ) setelah ditunggu 55 menit.
3. Potensialnya dinaikkan sebesar 50 mV dari nilai potensial korosi ( $E_{kor}$ ) dan ditunggu beberapa saat yaitu 5 menit kemudian dilihat dan dicatat arus yang lewat di amperemeter. Demikian seterusnya sampai potensial mencapai +750 mV dari nilai potensial korosi ( $E_{kor}$ ).
4. Kemudian pada power supply diatur pada kondisi potensial korosi ( $E_{kor}$ ), lalu diturunkan sebesar 50 mV dari nilai potensial korosi ( $E_{kor}$ ) dan ditunggu beberapa saat yaitu 5 menit kemudian dilihat dan dicatat arus yang lewat di amperemeter. Demikian seterusnya hingga pada voltmeter menunjukkan angka -750 mV dari nilai potensial korosi ( $E_{kor}$ ).
5. Hal ini dilakukan bergantian untuk setiap spesimen yang lain.

#### 4. Pembuatan Grafik dan Perhitungan Laju Korosi

Dari data arus yang diperoleh untuk potensial yang telah ditentukan dibuat grafik polarisasi (grafik Tafel) dengan urutan sebagai berikut :

1. Dibuat tabel nilai dari polarisasi (potensial mV) dan arus yang timbul  $i_a$  dan  $i_c$ .
2. Membagi arus dengan luas permukaan ( $i/A$ ). Kemudian dilogaritmakan.





3. Membuat grafik hubungan antara logaritma  $i/A$  dengan polarisasi (mV).
4. Menentukan nilai  $i_{kor}$  dari grafik tersebut seperti cara pengeplotan Tafel ideal [Trethewey dan Chamberlain, 1991].
5. Menghitung laju korosi setiap spesimen dari data  $i_{kor}$  yang diperoleh dengan menggunakan rumus hukum Faraday.
6. Melakukan analisis dari data-data laju korosi yang diperoleh.

## **BAB IV**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Dalam tugas akhir ini, dilakukan analisis korosi dengan melihat laju korosi pada weld metal dan HAZ pada hasil las pelat mild steel SS-41 dalam larutan pengkorosif NaCl dengan mevariabelkan jenis elektroda dan tebal pelat.

Alasan pemilihan jenis pelat SS-41 dalam tugas akhir ini karena jenis pelat ini paling banyak digunakan untuk lambung kapal dan karena pelat jenis ini mempunyai karakteristik kekuatan dan korosif yang cukup baik dan harganya relatif murah. Dan pemilihan larutan NaCl karena di dalam air laut NaCl yang mempunyai salinitas antara 30 sampai 35 gr/liter merupakan senyawa paling berpengaruh dalam terjadinya korosi.

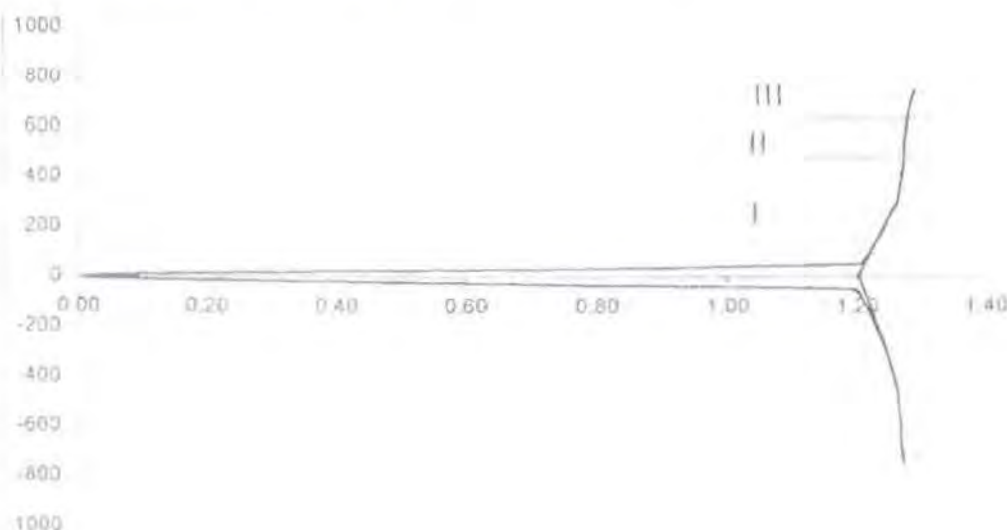
Elektroda-elektroda yang digunakan adalah klasifikasi AWS A5.1-78 dan produk dari ESAB, yaitu: E 7016 (OK 53.04), E 7018 (OK 48.04) dan E 7010 (OK 22.46). Dasar pemilihan elektroda-elektroda tersebut yaitu karena elektroda-elektroda tersebut paling banyak digunakan dalam pengelasan-pengelasan bangunan kapal terutama lambung kapal.

Dalam tugas akhir ini digunakan dua ketebalan pelat yaitu 25 dan 30 mm. Pemilihan pelat-pelat yang relatif tebal untuk mendapatkan daerah HAZ yang cukup lebar untuk dibuat sebagai spesimen.



#### 4.1 ANALISIS DIAGRAM TAFEL

Dari diagram Tafel yang didapat selama proses pengujian bisa dilihat bahwa proses reaksi korosi mengalami tiga fase, hal ini bisa dilihat dari diagram Tafel pada gambar 4.1 dibawah ini :



Gambar 4.1 Pengeplotan Tafel. [Saptana, 2001]

Pada fase I reaksi korosi bersifat aktif seiring dengan pertambahan potensial polarisasi. Hal ini bias terjadi karena belum adanya gangguan-gangguan terhadap permukaan logam, misalnya karena deposit-deposit yang bisa menempel pada permukaan spesimen. Setelah beberapa kali penambahan potensial, reaksi korosi bersifat pasif (fase II) meskipun tidak berlangsung lama, hal ini bisa terjadi karena perpindahan elektron terganggu karena adanya penempelan deposit pada permukaan spesimen sehingga mengganggu konduktivitasnya. Setelah logam mengalami kondisi pasif lapisan deposit akan terurai lagi untuk bereaksi dengan logam sehingga reaksi korosi yang bersifat aktif bisa berlanjut (fase III).





## 4.2 PERHITUNGAN LAJU KOROSI

Dari percobaan dapat dihitung arus yang melewati elektroda kerja dan elektroda acuan yang merupakan harga yang sebanding dengan jumlah elektron yang mengalir diantara kedua elektron tersebut. Dengan cara metoda elektrokimia teknik polarisasi seperti yang dijelaskan diatas, maka hasil pengukuran didapatkan  $i_0$  yang karena dalam proses merupakan jumlah kerapatan arus pertukaran arus anoda dan katoda yang melewati elektroda maka didapatkan  $i_{kor}$ . Dan  $i_{kor}$  selanjutnya digunakan dalam perhitungan laju korosi.

Pada hukum Faraday laju korosi (mpy) adalah :  $K \frac{ai}{nD}$

dimana :  $D$  = Densitas ( gr/cm<sup>3</sup> )

$K$  = Konstanta (0,129 dalam mpy )

$a$  = Berat atom

$n$  = Jumlah elektron yang bereaksi (valensi )

$i$  = rapat arus (  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  ) [konversi 1 mpy = 0,0254 mm/yr]

Sebagai contoh, untuk korosi besi pada larutan asam berudara bebas laju korosi elektrokimianya memiliki kerapatan arus 1  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ . Yang melarutkan ion-ion besi ( $\text{Fe}^{2+}$ ), dan nilai  $n = 2$ . Maka laju korosi dalam mpy diperoleh dengan mensubsitusikan ke persamaan :

$$\text{Laju korosi} = 0,129 \times \frac{(55,8)(1)}{(2)(7.86)} = 4,46 \text{ mpy} \text{ atau } 0,113 \text{ mmpy}$$



Dari perhitungan-perhitungan laju korosi dimana  $i_{kor}$  diperoleh dari grafik Tafel, dan densiti weld metal dan HAZ diasumsikan sama dengan base metal, yaitu  $7.845 \text{ gr/cm}^3$ , maka hasilnya ditabulasikan agar lebih jelas seperti berikut :

Tabel 4.1. Hasil Perhitungan Laju Korosi pada Pelat SS-41 30 mm

Percobaan ke	log(icor) log( $\mu\text{A/cm}^2$ )	icor ( $\mu\text{A/cm}^2$ )	CR Mpy	rata2 CR mpy	rata2 CR mm/yr
HAZ, SS-41 30 mm, E7018					
1	2.12	131.8257	60.5794318	58.32	1.48
2	2.09	123.0269	56.53601527		
3	2.10	125.8925	57.85290824		
Weld Metal, SS-41 30 mm, E7018					
1	2.08	120.2264	55.24909845	52.87	1.34
2	2.08	120.2264	55.24909845		
3	2.02	104.7129	48.11995312		
HAZ, SS-41 30 mm, E7016					
1	2.10	125.8925	57.85290824	55.70	1.41
2	2.08	120.2264	55.24909845		
3	2.07	117.4898	53.99147543		
Weld Metal, SS-41 30 mm, E7016					
1	2.05	112.2018	51.56145874	50.40	1.28
2	2.03	107.1519	49.24081082		
3	2.04	109.6478	50.38777665		
HAZ, SS-41 30 mm, E7010					
1	2.14	138.0384	63.43445246	61.54	1.56
2	2.11	128.825	59.20047558		
3	2.13	134.8963	61.99050804		
Weld Metal, SS-41 30 mm, E7010					
1	2.06	114.8154	52.7624794	54.42	1.38
2	2.08	120.2264	55.24909845		
3	2.08	120.2264	55.24909845		





Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Laju Korosi pada Pelat SS-41 25 mm

Percobaan ke	log(icor) log( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	icor ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	CR Mpy	rata2 CR mpy	rata2 CR mm/yr
HAZ, SS-41 25 mm, E7018					
1	2.06	114.81536	52.7624794	50.42	1.28
2	2.02	104.71285	48.1199531		
3	2.04	109.64782	50.3877766		
Weld Metal, SS-41 25 mm, E7018					
1	1.99	97.723722	44.9081532	44.57	1.13
2	1.99	97.723722	44.9081532		
3	1.98	95.499259	43.8859188		
HAZ, SS-41 25 mm, E7016					
1	2.04	109.64782	50.3877766	48.51	1.23
2	2.02	104.71285	48.1199531		
3	2.01	102.3293	47.0246093		
Weld Metal, SS-41 25 mm, E7016					
1	1.99	97.723722	44.9081532	43.24	1.10
2	1.97	93.32543	42.8869534		
3	1.96	91.201084	41.9107271		
HAZ, SS-41 25 mm, E7010					
1	2.08	120.22644	55.2490984	52.80	1.34
2	2.06	114.81536	52.7624794		
3	2.04	109.64782	50.3877766		
Weld Metal, SS-41 25 mm, E7010					
1	2.01	102.3293	47.0246093	45.96	1.17
2	2.00	100	45.9541985		
3	1.99	97.723722	44.9081532		

Bila dibandingkan hasil laju korosi pengelasan dengan elektroda E7018, E7016 dan E7010 pada Tabel 4.1 dan 4.2 dengan Tabel 4.3 tentang laju korosi relatif, terlihat bahwa laju korosi pada pengelasan dengan elektroda-elektroda tersebut masih berada diantara level fair dan poor.





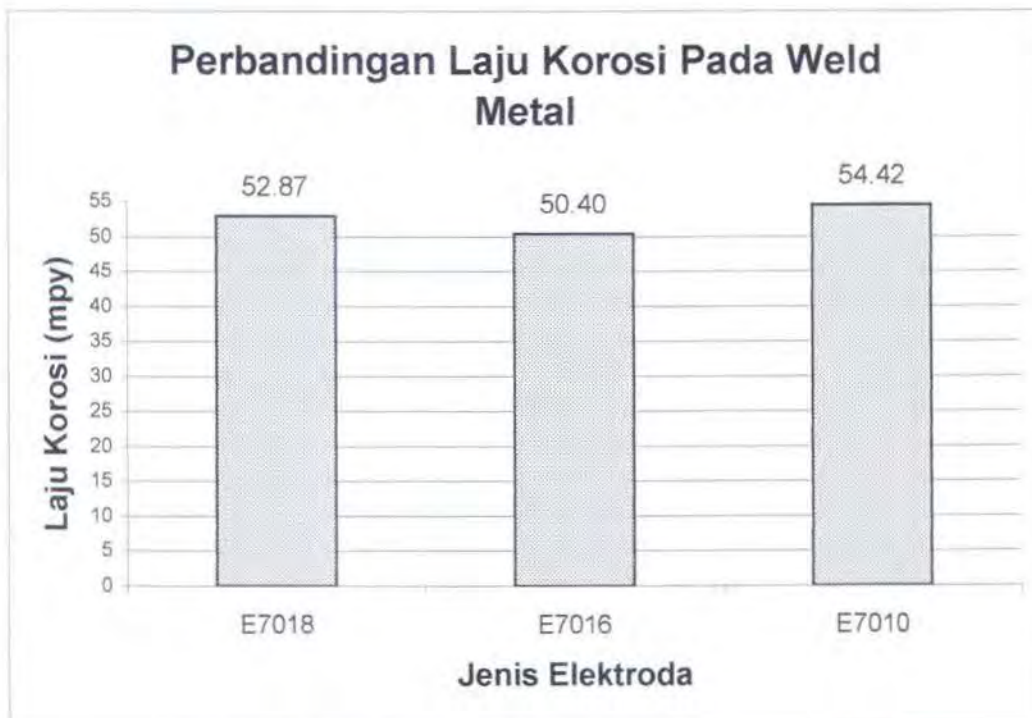
Tabel 4.3 Laju Korosi Relatif Dengan Konversi Pada Satuan Matrik.  
[Fontana, 1986]

Relative corrosion resistance*	Approximate metric equivalent				
	Mpy	$\frac{\text{mm}}{\text{yr}}$	$\frac{\mu\text{m}}{\text{yr}}$	$\frac{\text{nm}}{\text{hr}}$	$\frac{\text{pm}}{\text{sec}}$
Outstanding	< 1	< 0,02	< 25	< 2	< 1
Excellent	1 – 5	0,02 – 0,1	25 – 100	2 – 10	1 – 5
Good	5 – 20	0,1 – 0,5	100 – 500	10 – 50	5 – 20
Fair	20 – 50	0,5 – 1	500 – 1000	50 – 150	20 – 50
Poor	50 – 200	1 – 5	1000 – 5000	150 – 500	50 – 200
Unacceptable	200 +	5 +	5000 +	500 +	200 +

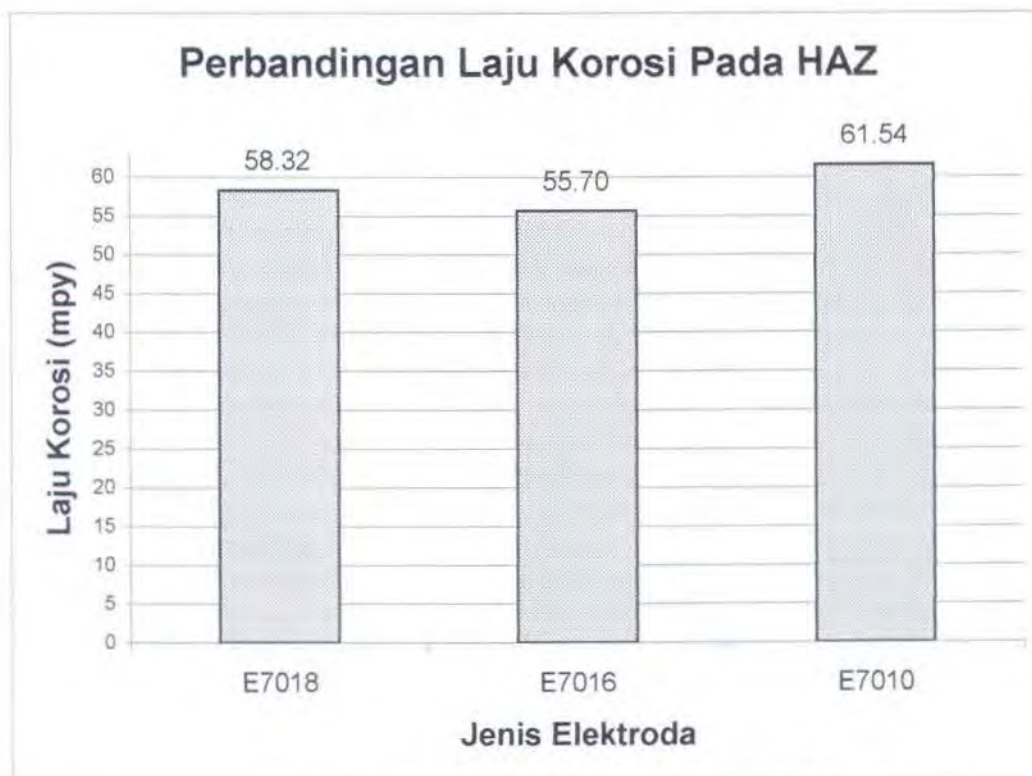
Sebagai contoh pada pelat SS-41 25 mm yang disambung dengan elektroda E7016 mempunyai laju korosi weld metal 43.24 mpy atau 1.10 mm/yr, dan dengan elektroda E7018 mempunyai laju korosi weld metal 44.57 mpy atau 1.13 mm/yr, sedangkan dengan elektroda E7010 mempunyai laju korosi weld metal 45.96 mpy atau 1.17 mm/yr. Dari contoh diatas didapat kesimpulan bahwa laju korosi weld metal dengan menggunakan elektroda-elektroda tersebut berada pada level antara fair dan poor.

#### 4.3 ANALISIS VARIABEL ELEKTRODA LAS

Pada percobaan test Tafel polarisasi yang dilakukan untuk menghitung laju korosi pada weld metal dan HAZ, dengan menggunakan elektroda E7018, E7016 dan E7010, hasil perbandingannya dapat dilihat pada gambar. 4.2 dan gambar. 4.3 untuk pelat SS-41 tebal 30 mm.



Gambar 4.2 Perbandingan Laju Korosi pada Weld Metal.



Gambar 4.3 Perbandingan Laju Korosi pada HAZ.





Dari gambar 4.1 dapat diketahui bahwa laju korosi weld metal pada pengelasan dengan elektroda E7016 sebesar **50.40 mpy**, lebih kecil dari kedua jenis elektroda yang lain yaitu E7018 yang laju korosinya mencapai **52.87 mpy** dan E7010 yang laju korosinya mencapai **54.42 mpy**.

Sedangkan dari gambar 4.2 kita dapat melihat bahwa perilaku laju korosi HAZ dengan menggunakan ketiga elektroda tersebut tidak berbeda dengan laju korosi pada weld metalnya. Laju korosi HAZ dengan elektroda E7016 sebesar **55.70 mpy**, lebih kecil dari kedua jenis elektroda yang lain yaitu E7018 yang laju korosinya mencapai **58.32 mpy** dan E7010 yang laju korosinya mencapai **61.54 mpy**.

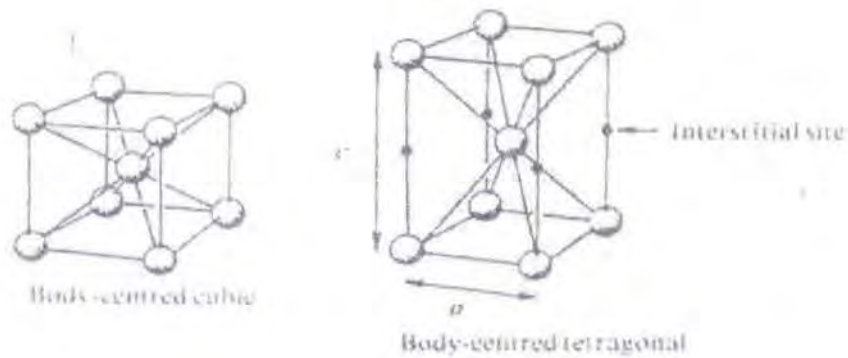
Laju korosi HAZ ternyata lebih besar dari laju korosi weld metal dengan elektroda yang sama. Hal ini karena di daerah HAZ terjadi perubahan struktur material dan cenderung martensit. Pada material yang martensit struktur kristalnya adalah Body-center tetragonal (bct), [Honeycombe, 1995]. Body-center tetragonal mempunyai susunan atom yang lebih berjauhan bila dibandingkan Body-center cubic (bcc), yang merupakan susunan kristal baja pada temperatur rendah. Perbedaan susunan kristal bcc dengan bct dapat terlihat pada gambar 4.4. Semakin jauh susunan antar atom maka energi ikatan antar atomnya semakin kecil, dengan kecilnya energi ikatan antar atom maka semakin mudah terkorosi.

Dari gambar 4.5 diketahui struktur mikro pada material martensit berupa butiran-butiran yang memanjang dan runcing pada ujung-ujungnya. Keberadaan struktur seperti ini menyebabkan timbulnya tegangan internal pada ujung-ujung

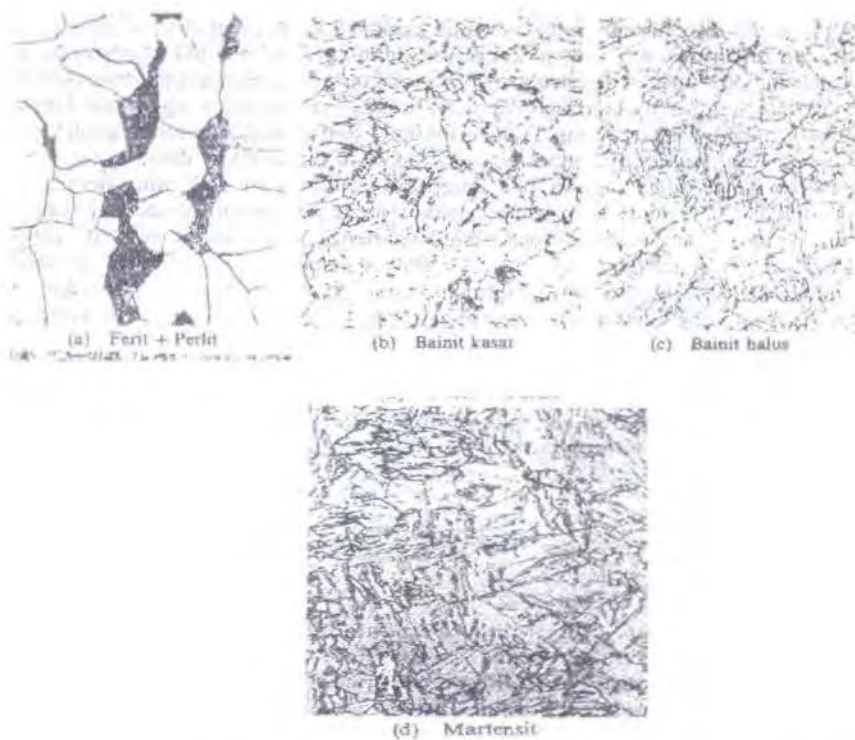




butiran tersebut. Bagian yang mengalami tegangan lebih besar akan menjadi anode, dan akan terkorosi lebih hebat.



Gambar 4.4 Perbedaan susunan kristal bcc dengan bct. [Anderson,1990]



Gambar 4.5 Struktur mikro dalam baja karbon rendah. [Harsono & Okumura,1990]

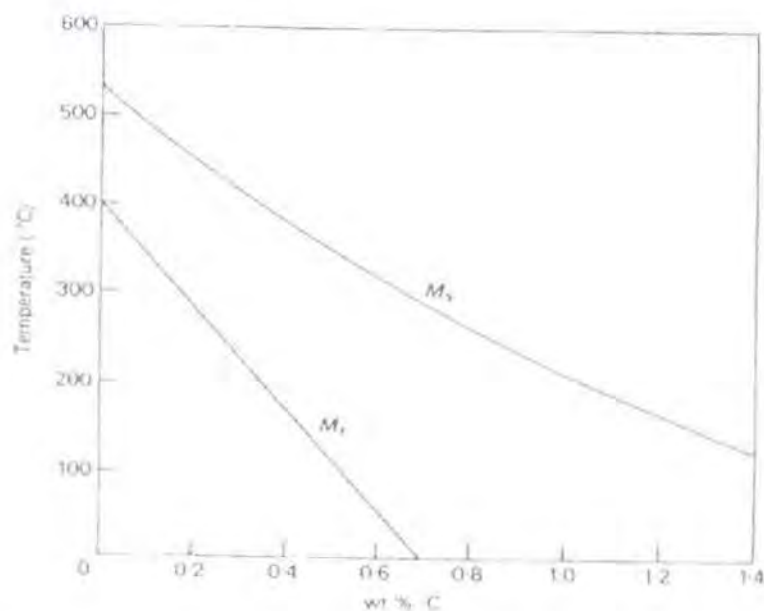


Laju korosi pada weld metal sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia weld metal yang dihasilkan oleh elektroda dan fluks yang membungkus elektroda tersebut. Sedangkan laju korosi pada HAZ sangat dipengaruhi komposisi kimia base metal dan weld metal, bentuk dan ukuran butir dan fluk elektroda.

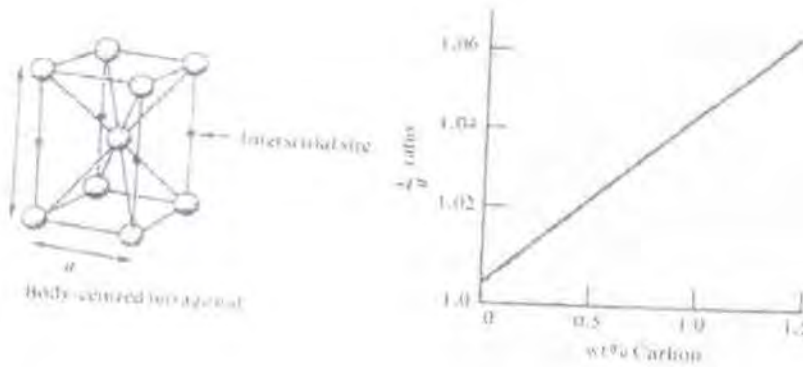
Unsur-unsur selain Fe yang terdapat pada weld metal dengan elektroda E7016 dan E7018 yaitu C, Mn dan Si, sedangkan dengan elektroda E7010 terdapat C, Mn, Si, Ni dan Mo. Pengaruh-pengaruh akibat terdapat unsur-unsur tersebut pada weld metal yaitu:

- Karbon (C).

Karbon merupakan unsur penentu dalam menaikkan kuat tarik dan kekerasan serta laju korosi dari suatu logam. Pengaruh kadar karbon dalam peningkatan laju korosi dapat dijelaskan dengan gambar 4.6 dan gambar 4.7.



Gambar 4.6 Pengaruh karbon terhadap  $M_s$  dan  $M_f$  [Honeycombe, 1995]



Gambar 4.7 Peningkatan rasio  $c/a$  pada bct. [Anderson, 1990]

Dari gambar 4.5 dapat diketahui bahwa semakin besar kadar karbon maka akan semakin banyak terbentuk martensit. Sedangkan dari gambar 4.6 dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin tinggi kadar carbon maka akan terbentuk struktur kristal bct yang semakin renggang. Sehingga material tersebut semakin mudah terkorosi.

- Mangan (Mn).

Apabila kadar Mn tinggi maka kuat tarik dan kekerasan material semakin besar tanpa mengurangi kekenyalan. Mangan merupakan unsur yang sangat diperlukan pada proses reduksi pada proses pengelasan. Proses ini berguna untuk menarik kembali oksigen dari pori-pori oksida yang ada dalam cairan logam.

- Silikon (Si).

Silikon menaikkan kekerasan dan kekutan tetapi menurunkan kekenyalan dan unsur ini diperlukan juga dalam proses reduksi pada proses pengelasan. Biasanya unsur Si dan Mn dicampurkan ke dalam lapisan elektroda (fluks). Sehingga dengan semakin meningkatnya kandungan Si





dan Mn maka slag dan porosity yang terjadi pada lasan berkurang. Adanya slag dan porosity menyebabkan terjadinya dislokasi pada lasan sehingga tegangan sisa lasan meningkat. Tegangan sisa yang terjadi ini meningkatkan korosi galvanis karena pada bagian yang mengalami tegangan lebih besar akan menjadi anode, dan akan terkorosi lebih hebat. [Suherman, 1987]

- Nikel (Ni).

Nikel adalah unsur yang dapat menaikkan sifat kekenyalan, memperbaiki kekuatan tarik dan memperbaiki sifat ketahanan terhadap korosi tegangan.

- Molibdenum (Mo).

Molibdenum dapat meningkatkan sifat tahan panas dan menaikkan kekerasan akan tetapi menurunkan kekenyalan dan harga pendinginan. Sedangkan ketahanan terhadap korosi pitting dan celah meningkat seiring dengan penambahan molibdenum.

Prosentasi unsur-unsur tersebut pada weld metal dapat dilihat pada tabel 4.4 dibawah ini.

Tabel 4.4 Komposisi Kimia Weld Metal ( % ). [ESAB hand book]

	C	Si	Mn	Mo	Ni
E 7018 (OK 48.04)	0.10	0.40	1.20	-	-
E 7016 (OK 53.04)	0.07	0.60	1.00	-	-
E 7010 (OK 22.46)	0.10	0.18	0.31	0.24	0.53



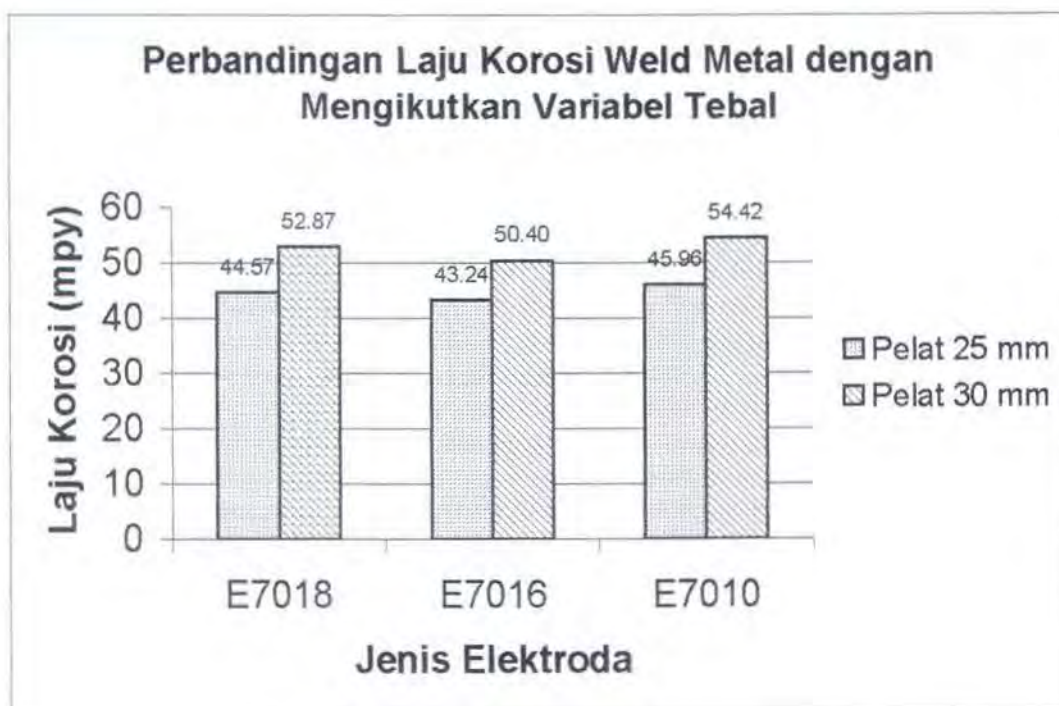
Dari teori-teori yang dijelaskan diatas ada beberapa faktor yang menyebabkan Elektroda E7016 mempunyai laju korosi Weld Metal dan HAZ terkecil, yaitu:

1. Mempunyai kadar carbon yang terkecil daripada elektroda E7018 dan E7010. Sehingga semakin berkurang terbentuknya lasan yang martensit dan pada susunan kristal bct rasio b/c-nya lebih kecil.
2. Mempunyai kadar Si dan Mn yang relatif lebih tinggi sehingga kemungkinan lasan terjadi dislokasi semakin kecil sehingga penambahan laju korosi karena tegangan sisa yang dihasilkan karena dislokasi berkurang.

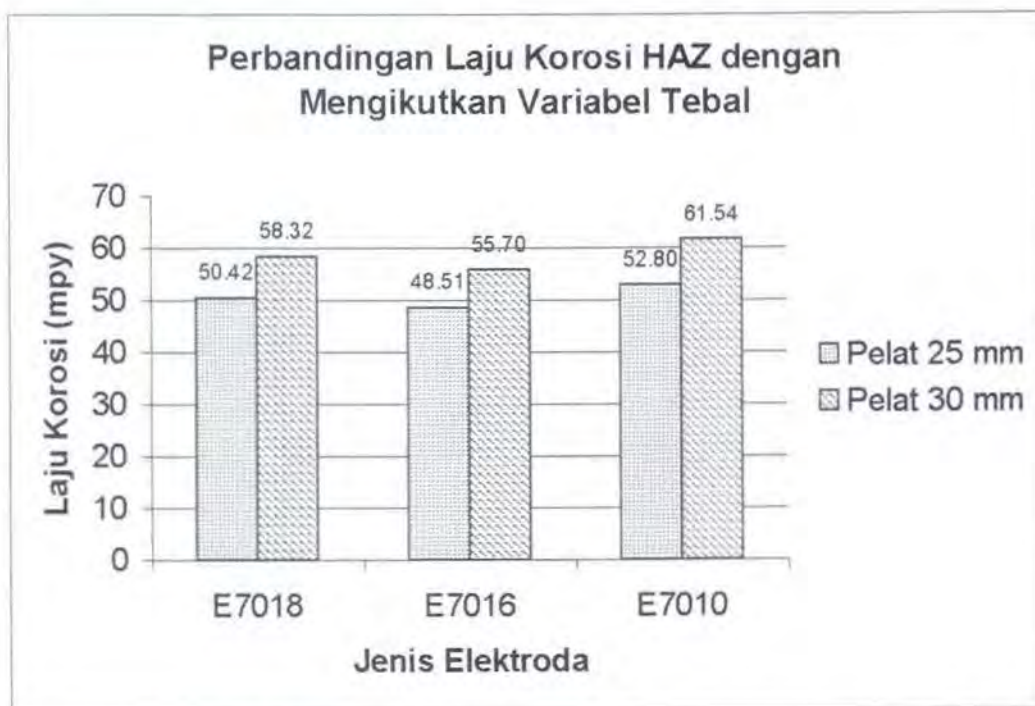
#### 4.4 ANALISIS VARIABEL KETEBALAN PELAT

Dari data-data laju korosi yang dapat kita lihat pada tabel 4.1 dan 4.2, kita ketahui bahwa semakin tebal pelat kecenderungan laju korosinya semakin naik walaupun tingkat kenaikannya relatif kecil.

Perbandingan laju korosi pada weld metal dan HAZ untuk elektroda E7018, E7016 dan E7010 dengan melibatkan variabel ketebalan dapat dilihat pada gambar 4.7 dan gambar 4.8.



Gambar 4.8 Perbandingan Laju Korosi Weld Metal dengan mengikutkan Variabel Tebal.



Gambar 4.9 Perbandingan Laju Korosi HAZ dengan mengikutkan Variabel Tebal.

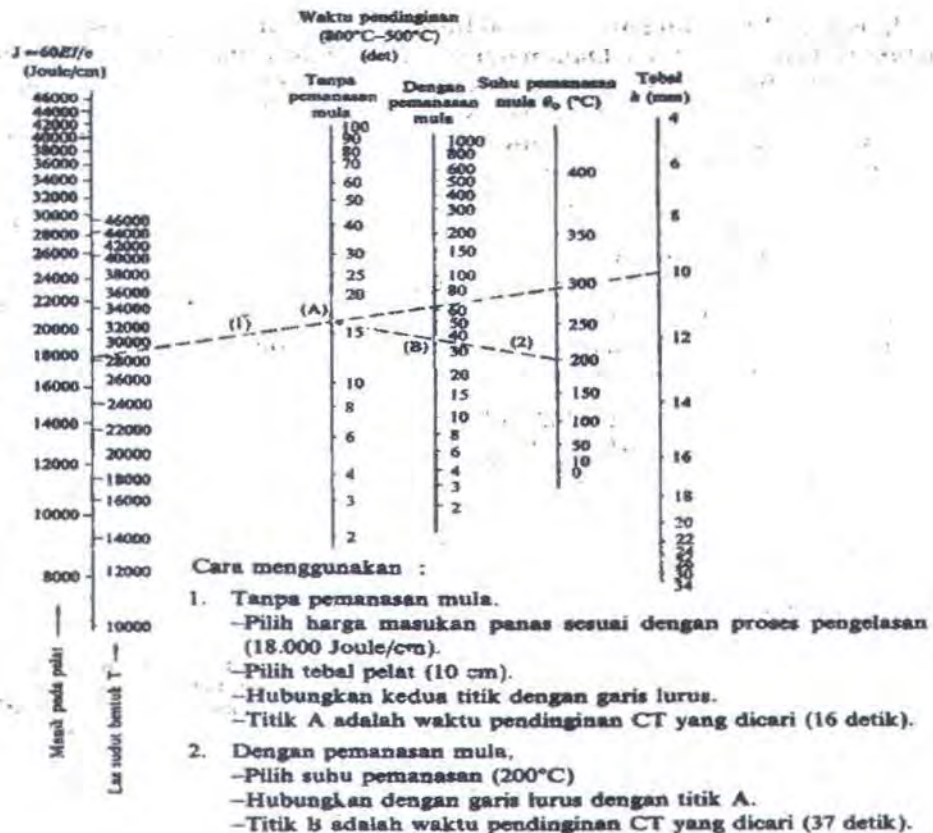




Dari perbandingan laju korosi weld metal dan HAZ dengan menggunakan elektroda E7018, E7016 dan E7010 pada pelat 25 dan 30 mm yang dapat dilihat pada gambar 4.7 dan gambar 4.8 di atas dapat kita ketahui bahwa laju korosi weld metal dan HAZ dengan menggunakan E7016 mempunyai peningkatan laju korosi terkecil (weld metal = 7.16 mpy dan HAZ = 7.19 mpy) daripada elektroda E7016 (weld metal = 8.3 mpy dan HAZ = 7.9 mpy) dan E7010 (weld metal = 8.46 mpy dan HAZ = 8.74 mpy).

Dalam suatu material yang mengalami suatu proses pengelasan akan selalu menghasilkan tegangan sisa pada material hasil las tersebut. Yang dapat dilakukan oleh rekayasawan adalah bagaimana agar menghasilkan lasan dengan tegangan sisa sekecil mungkin. Tegangan sisa banyak sekali tergantung pada rancangan las, proses pengelasan yang digunakan dan pengawasannya. Kenaikan dari tebal pelat akan mempertinggi besarnya tegangan sisa. Tegangan sisa yang terjadi ini meningkatkan korosi galvanis karena pada bagian yang mengalami tegangan lebih besar akan menjadi anode, dan akan terkorosi lebih hebat. [Suherman, 1987]. Tegangan sisa juga merupakan penyebab dari stress corrosion cracking (SCC) dan hidrogen induce cracking.

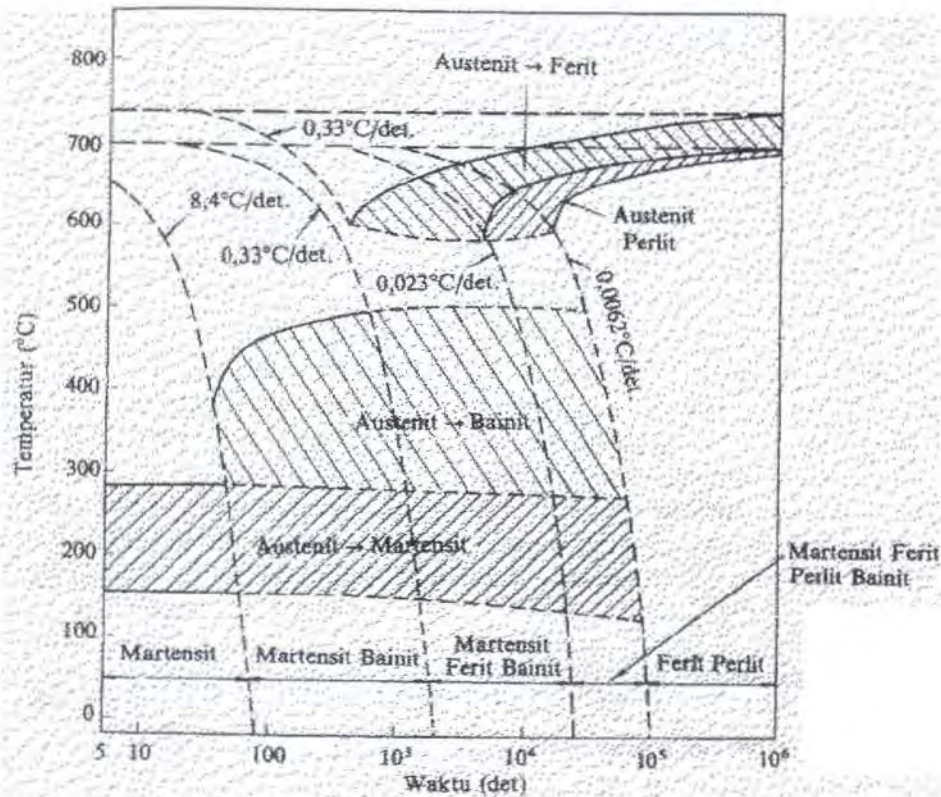
Perbedaan tebal pelat juga menyebabkan perbedaan kecepatan waktu pendinginan pada proses pengelasaanya. Hubungan antara tebal pengelasan dan kecepatan waktu pendinginan dapat dilihat pada gambar 4.10. Dari gambar 4.10 dapat ditarik kesimpulan bahwa dengan bertambahnya tebal pelat akan semakin mepercepat waktu pendinginan.



Gambar 4.10 Hubungan tebal pelat dengan kecepatan Pendinginan pengelasan.  
[Harsono, Okumura, 1996]

Kecepatan pendinginan sangat mempengaruhi struktur mikro, sifat mekanik dan cacat retak dari hasil las. Dari gambar 4.11 diketahui waktu pendinginan yang cepat akan menghasilkan material yang cenderung martensit dan mempunyai sifat brittle. Lasan yang martensit menghasilkan susunan kristal bcc yang mempunyai ikatan yang lebih renggang daripada bcc. Dengan semakin renggangnya susunan kristal maka energi ikatannya pun kecil sehingga akan semakin mudah terkorosi karena lebih mudah melepaskan energi ikatannya tersebut.





Gambar 4.11 Diagram pendinginan kontinu (diagram CCT).

[Harsono, Okumura, 1996]

Dari pernyataan-pernyataan diatas dapat ditarik hubungan antara penambahan tebal pelat dengan laju korosi bahwa semakin tebal pelat yang digunakan maka laju korosi akan semakin bertambah.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan dari data hasil percobaan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Ketiga elektroda yang dipakai dalam percobaan ini yaitu E7018, E7016 dan E7010 menghasilkan hasil las yang mempunyai ketahanan korosi cukup baik karena berada diantara level fair dan poor, laju korosi weld metal pada pengelasan dengan elektroda E7016 sebesar **50.40 mpy**, lebih kecil dari kedua jenis elektroda yang lain yaitu E7018 yang laju korosinya mencapai **52.87 mpy** dan E7010 yang laju korosinya mencapai **54.42 mpy**. Sedangkan laju korosi HAZ dengan elektroda E7016 sebesar **55.70 mpy**, lebih kecil dari kedua jenis elektroda yang lain yaitu E7018 yang laju korosinya mencapai **58.32 mpy** dan E7010 yang laju korosinya mencapai **61.54 mpy**.
2. Penggunaan pelat yang lebih tebal menyebabkan peningkatan laju korosi weld metal maupun HAZ-nya, tetapi peningkatan laju korosi tersebut kecil tidak lebih dari **9 mpy** untuk peningkatan tebal dari 25 ke 30 mm. Karena penggunaan pelat yang lebih tebal, Elektroda E7016 mempunyai peningkatan laju korosi terkecil (**weld metal = 7.16 mpy** dan **HAZ = 7.19 mpy**) daripada elektroda E7016 (**weld**



metal = 8.3 mpy dan HAZ = 7.9 mpy) dan E7010 (weld metal = 8.46 mpy dan HAZ = 8.74 mpy).

## **5.2 SARAN**

Untuk memperbaiki dan mendapatkan hasil yang lebih memuaskan pada penelitian selanjutnya, saran dapat diberikan adalah sebagai berikut;

1. Menambah variabel tebal pelat.
2. Melakukan penelitian seberapa besar pengaruh tegangan sisa terhadap laju korosi hasil las.
3. Melakukan chemical composition analysis terhadap weld metal dan HAZ.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Annual Book of ASTM Standard, Section 3 Metal Test Method and Analytical Procedure, vol 03.02 *Wear and Erosion; Metal Corrosion*, Philadelphia, USA, 1994.
2. Fontana, M.G., *Corrosion Engineering 3<sup>th</sup> Edition*, Mc Graw Hill Book Co, Singapore, 1986.
3. Honeycombe and H. Bhaadeshia, *Microstructure and Properties*, Adward Arnold, London, 1995.
4. J.C. Anderson, K.D. Leaver, R.D. Rawlings and J.M. Alexander, *Material Science*, Chapman & Hall, New York, 1990.
5. Metal Handbook 8<sup>th</sup> Vol. 6, *Welding and Brazing*, American Society for Metals (ASM), Ohio, 1971.
6. Metal Handbook 8<sup>th</sup> Vol. 8, *Metallography, Structure and Phase Diagram*, American Society for Metals (ASM), Ohio, 1973.
7. Saptana, Yuli, *Analisa Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Laju Korosi Pada Pelat Lambung Kapal*, FTK, ITS, 2001.
8. Sherir, L.L, R.A Jarman, and G.T Burstein, *Corrosion vol: 1 'Metal Environment Reaction' 3<sup>th</sup> Edition*, Butterworth, Heimann Ltd., London, 1994.
9. Sherir, L.L, R.A Jarman, and G.T Burstein, *Corrosion vol: 2 'Metal Environment Reaction' 3<sup>th</sup> Edition*, Butterworth, Heimann Ltd., London, 1994.
10. Sitompul, Toga R., *Analisa Perbandingan Laju Korosi Pada Pengelasan Dengan Menggunakan Elektroda Yang Mengandung Mn ( Manganese ) Dan Elektroda Yang Mengandung Cr ( Chromium ) Pada Pelat Stainless Stell Tangki Kapal Tangker*, FTK, ITS, 2000.
11. Suherman, Wahid, *Pengetahuan Bahan*, FTI, ITS, Surabaya, 1987.
12. Trethewey, Kenneth R. and J. Chamberlain, *Corrosion for Student of Science and Engineering*, alih bahasa oleh Alex Tri Kantjono Widodo, *Korosi Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1991.



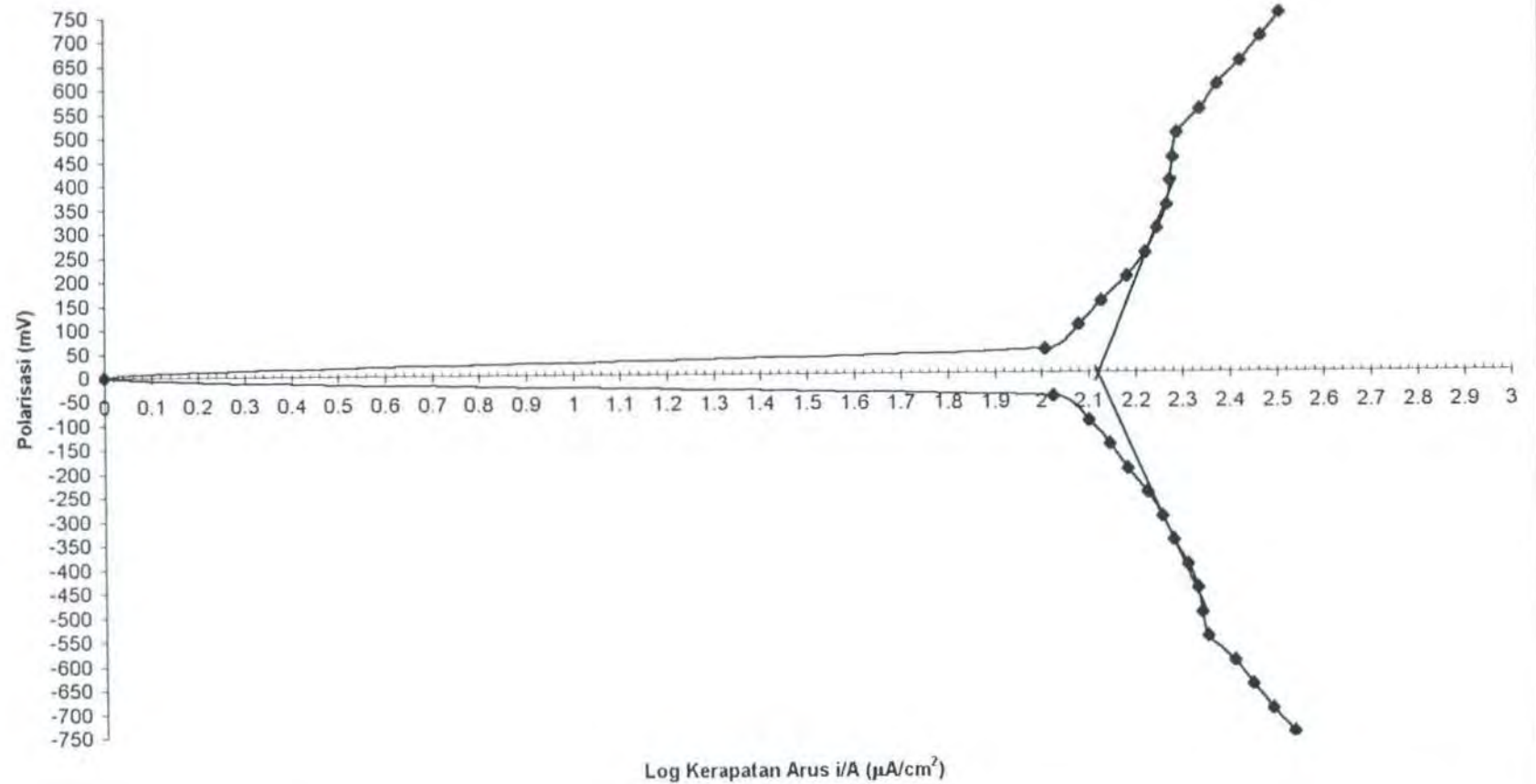
13. Uhlig, Herbert H. and Winston R. Revie, Corrosion and Corrosion Control 3<sup>th</sup> Edition, John Wiley & Sons, USA, 1985.
14. Widharto, Sri, *Karat dan Pencegahannya*, Pradnya Paramita, Jakarta, 1987.
15. Wiryosumarto, Harsono and Okumura, Toshie, *Welding Engineering*, Pradnya Paramita, Jakarta, 1996.

# Data Percobaan Polarisasi I

Untuk **HAZ** Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm  
 Dengan Elektroda **E 7018** Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter  
 Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

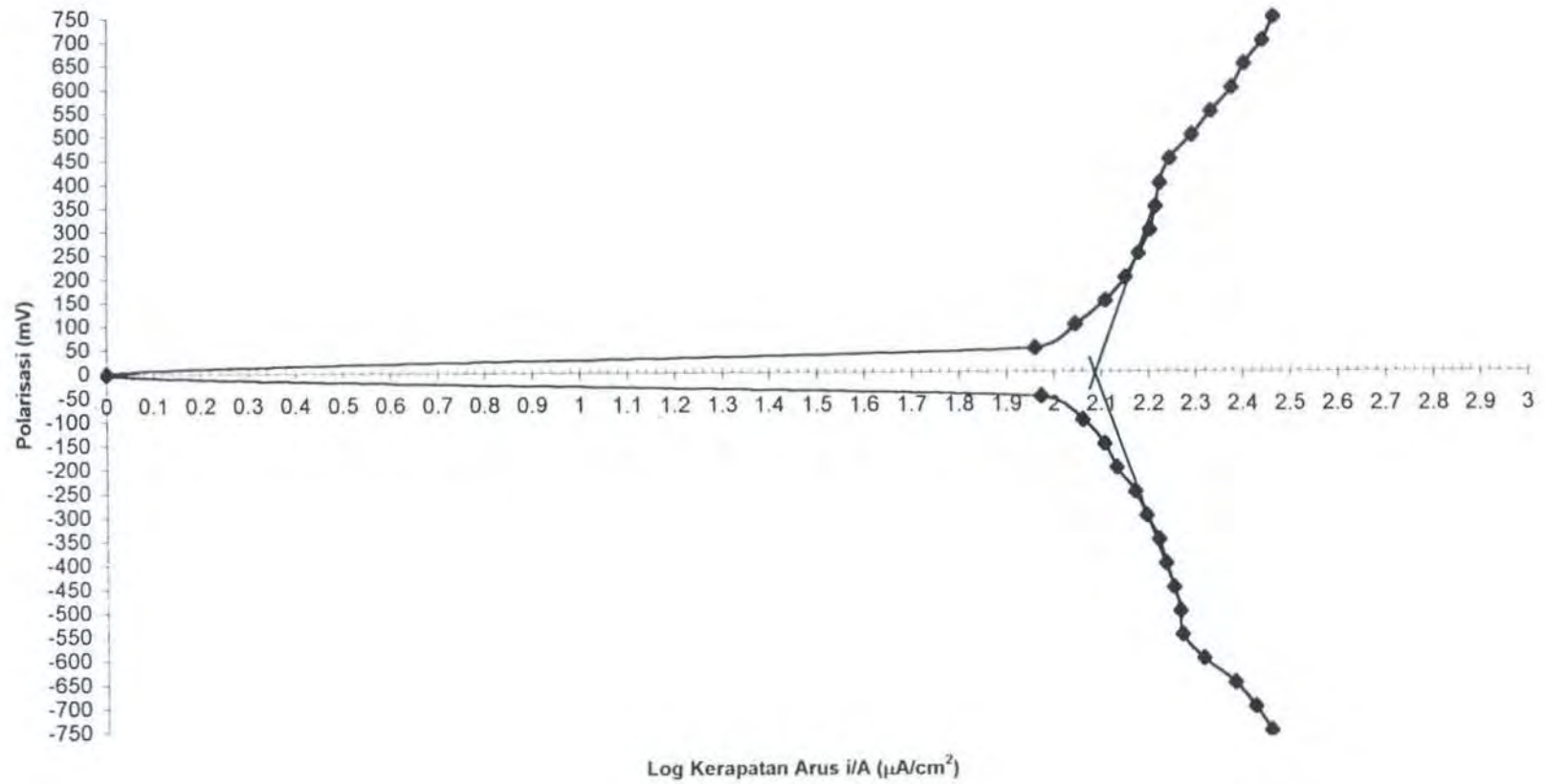
V ( mV )	Data Percobaan		i / A ( $\mu\text{A} / \text{cm}^2$ )	Log ( i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu\text{A}$ )		
-750	0.847	847.00	340.1606	2.531684
-700	0.764	764.00	306.8273	2.486894
-650	0.692	692.00	277.9116	2.443907
-600	0.634	634.00	254.6185	2.405890
-550	0.557	557.00	223.6948	2.349656
-500	0.542	542.00	217.6707	2.337800
-450	0.531	531.00	213.2530	2.328895
-400	0.506	506.00	203.2129	2.307951
-350	0.473	473.00	189.9598	2.278662
-300	0.449	449.00	180.3213	2.256047
-250	0.417	417.00	167.4699	2.223937
-200	0.378	378.00	151.8072	2.181292
-150	0.347	347.00	139.3574	2.144130
-100	0.313	313.00	125.7028	2.099345
-50	0.264	264.00	106.0241	2.025405
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.254	254.00	102.0080	2.008634
100	0.298	298.00	119.6787	2.078017
150	0.334	334.00	134.1365	2.127547
200	0.378	378.00	151.8072	2.181292
250	0.415	415.00	166.6667	2.221849
300	0.439	439.00	176.3052	2.246265
350	0.462	462.00	185.5422	2.268443
400	0.467	467.00	187.5502	2.273118
450	0.475	475.00	190.7631	2.280494
500	0.485	485.00	194.7791	2.289542
550	0.542	542.00	217.6707	2.337800
600	0.591	591.00	237.3494	2.375388
650	0.660	660.00	265.0602	2.423345
700	0.729	729.00	292.7711	2.466528
750	0.801	801.00	321.6867	2.507433

Grafik Polarisasi I Untuk HAZ Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm Dengan Elektroda E7018





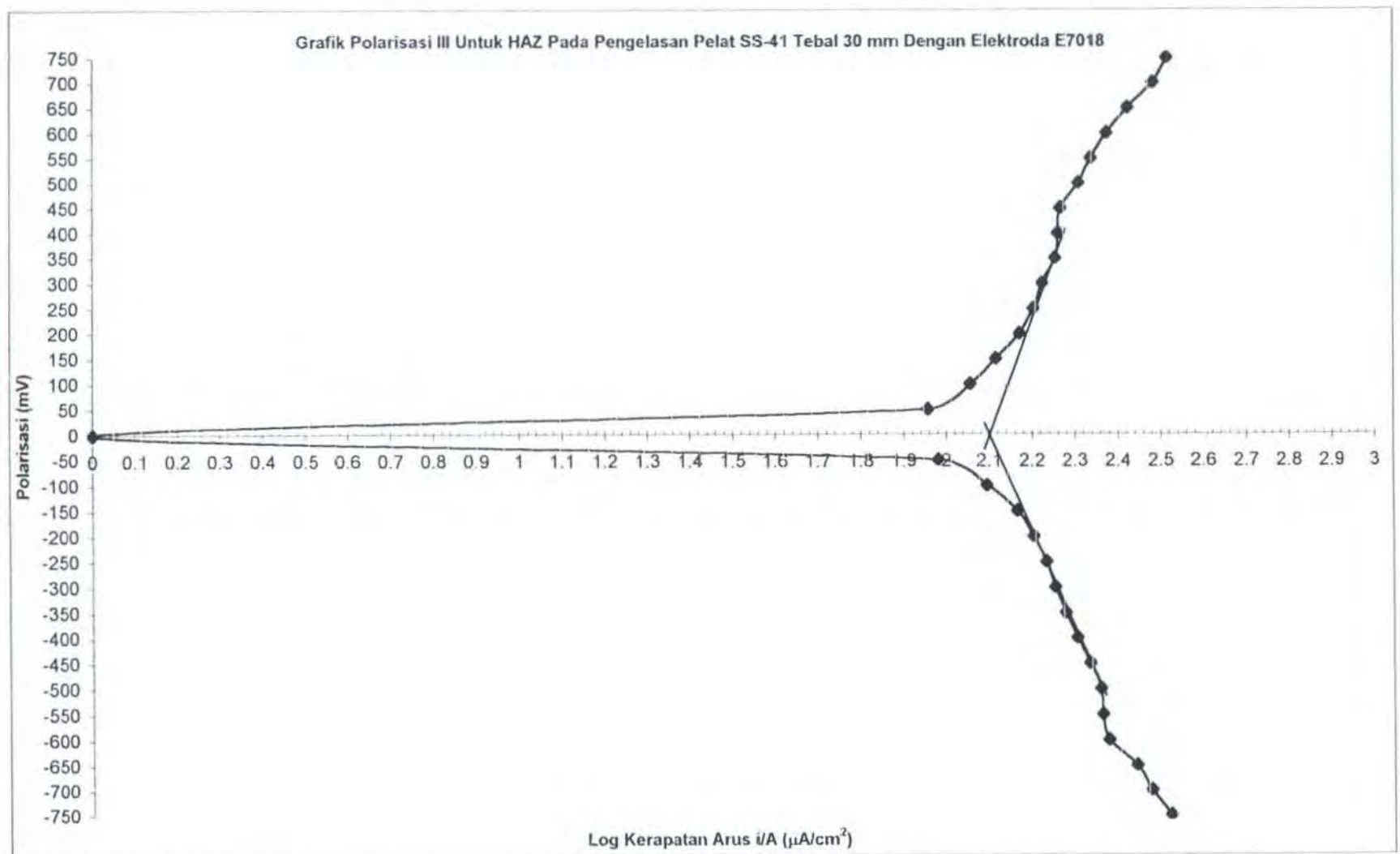
Grafik Polarisasi II Untuk HAZ Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm Dengan Elektroda E7018



### Data Percobaan Polarisation III

Untuk **HAZ** Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm  
 Dengan Elektroda E 7018 Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter  
 Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V ( mV )	Data Percobaan		i / A ( $\mu\text{A} / \text{cm}^2$ )	Log ( i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu\text{A}$ )		
-750	0.827	827.00	332.1285	2.521306
-700	0.745	745.00	299.1968	2.475957
-650	0.687	687.00	275.9036	2.440757
-600	0.592	592.00	237.7510	2.376122
-550	0.573	573.00	230.1205	2.361955
-500	0.567	567.00	227.7108	2.357384
-450	0.536	536.00	215.2610	2.332965
-400	0.501	501.00	201.2048	2.303638
-350	0.471	471.00	189.1566	2.276822
-300	0.445	445.00	178.7149	2.252161
-250	0.425	425.00	170.6827	2.232190
-200	0.397	397.00	159.4378	2.202591
-150	0.364	364.00	146.1847	2.164902
-100	0.309	309.00	124.0964	2.093759
-50	0.238	238.00	95.5823	1.980378
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.225	225.00	90.3614	1.955983
100	0.283	283.00	113.6546	2.055587
150	0.324	324.00	130.1205	2.114346
200	0.368	368.00	147.7912	2.169648
250	0.397	397.00	159.4378	2.202591
300	0.416	416.00	167.0683	2.222894
350	0.446	446.00	179.1165	2.253136
400	0.452	452.00	181.5261	2.258939
450	0.458	458.00	183.9357	2.264666
500	0.506	506.00	203.2129	2.307951
550	0.540	540.00	216.8675	2.336194
600	0.587	587.00	235.7430	2.372439
650	0.657	657.00	263.8554	2.421366
700	0.753	753.00	302.4096	2.480596
750	0.810	810.00	325.3012	2.512286





Data Percobaan Polarisasi I

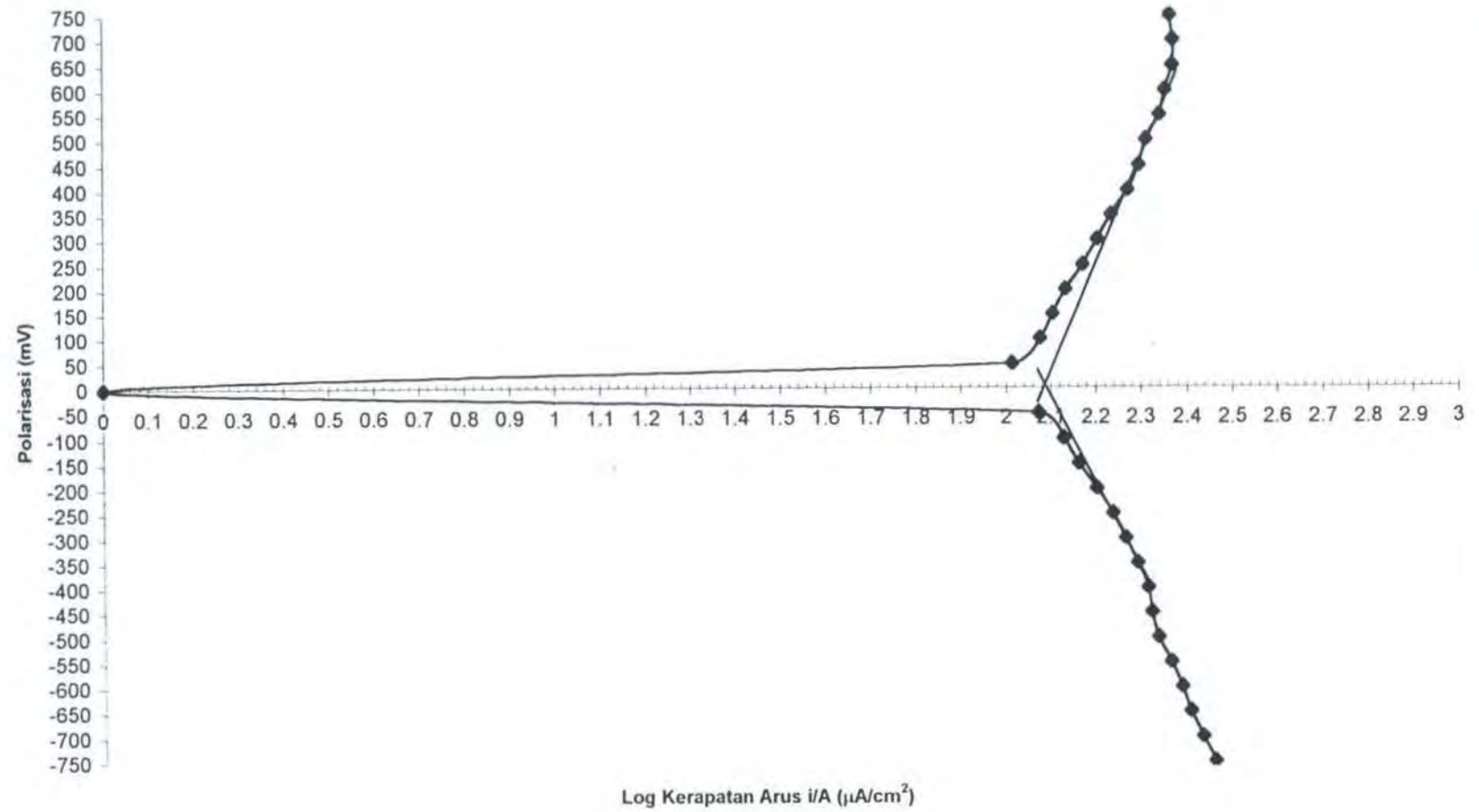
Untuk **Weld Metal** Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm

Dengan Elektroda **E 7018** Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter

Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V ( mV )	Data Percobaan		i / A ( $\mu\text{A} / \text{cm}^2$ )	Log ( i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu\text{A}$ )		
-750	0.712	712.00	285.9438	2.456281
-700	0.670	670.00	269.0763	2.429875
-650	0.629	629.00	252.6104	2.402451
-600	0.604	604.00	242.5703	2.384838
-550	0.571	571.00	229.3173	2.360437
-500	0.537	537.00	215.6627	2.333775
-450	0.520	520.00	208.8353	2.319804
-400	0.511	511.00	205.2209	2.312222
-350	0.485	485.00	194.7791	2.289542
-300	0.458	458.00	183.9357	2.264666
-250	0.429	429.00	172.2892	2.236258
-200	0.395	395.00	158.6345	2.200398
-150	0.361	361.00	144.9799	2.161308
-100	0.334	334.00	134.1365	2.127547
-50	0.294	294.00	118.0723	2.072148
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.257	257.00	103.2129	2.013734
100	0.296	296.00	118.8755	2.075092
150	0.316	316.00	126.9076	2.103488
200	0.338	338.00	135.7430	2.132717
250	0.369	369.00	148.1928	2.170827
300	0.397	397.00	159.4378	2.202591
350	0.427	427.00	171.4859	2.234229
400	0.464	464.00	186.3454	2.270319
450	0.492	492.00	197.5904	2.295766
500	0.509	509.00	204.4177	2.310518
550	0.545	545.00	218.8755	2.340197
600	0.560	560.00	224.8996	2.351989
650	0.582	582.00	233.7349	2.368724
700	0.583	583.00	234.1365	2.369469
750	0.574	574.00	230.5221	2.362713

Grafik Polarisasi I Untuk Weld Metal Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm Dengan Elektroda E7018





Data Percobaan Polarisasi II

Untuk **Weld Metal** Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm

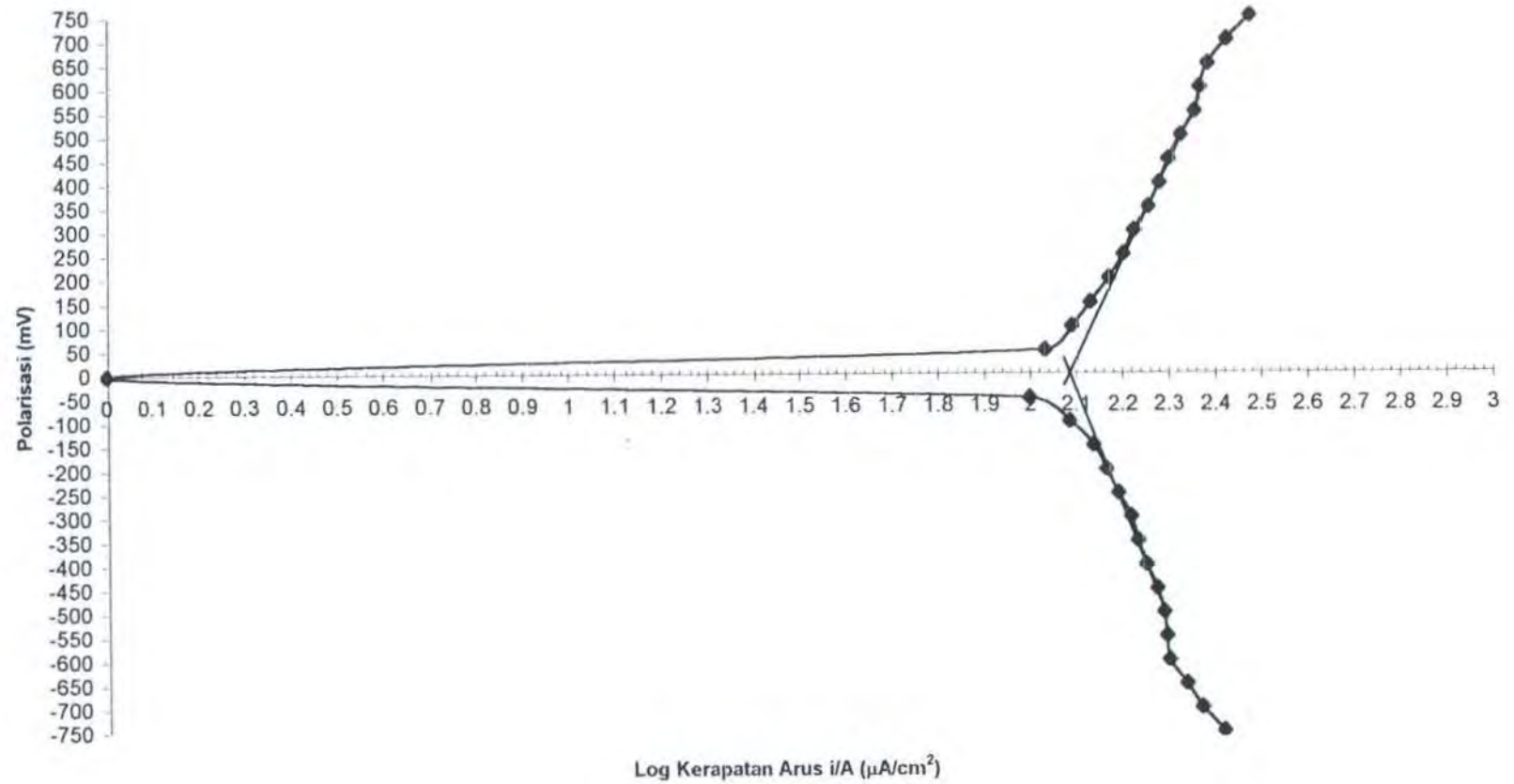
Dengan Elektroda E 7018 Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter

Dengan Luasan Spesimen  $2.49 \text{ cm}^2$

V ( mV )	Data Percobaan		i / A ( $\mu\text{A} / \text{cm}^2$ )	Log ( i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu\text{A}$ )		
-750	0.643	643.00	258.2329	2.412012
-700	0.578	578.00	232.1285	2.365728
-650	0.536	536.00	215.2610	2.332965
-600	0.491	491.00	197.1888	2.294882
-550	0.485	485.00	194.7791	2.289542
-500	0.479	479.00	192.3695	2.284136
-450	0.464	464.00	186.3454	2.270319
-400	0.440	440.00	176.7068	2.247253
-350	0.423	423.00	169.8795	2.230141
-300	0.409	409.00	164.2570	2.215524
-250	0.384	384.00	154.2169	2.188132
-200	0.362	362.00	145.3815	2.162509
-150	0.340	340.00	136.5462	2.135280
-100	0.302	302.00	121.2851	2.083808
-50	0.248	248.00	99.5984	1.998252
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.268	268.00	107.6305	2.031935
100	0.306	306.00	122.8916	2.089522
150	0.336	336.00	134.9398	2.130140
200	0.369	369.00	148.1928	2.170827
250	0.397	397.00	159.4378	2.202591
300	0.418	418.00	167.8715	2.224977
350	0.449	449.00	180.3213	2.256047
400	0.474	474.00	190.3614	2.279579
450	0.497	497.00	199.5984	2.300157
500	0.528	528.00	212.0482	2.326435
550	0.566	566.00	227.3092	2.356617
600	0.581	581.00	233.3333	2.367977
650	0.604	604.00	242.5703	2.384838
700	0.664	664.00	266.6667	2.425969
750	0.745	745.00	299.1968	2.475957



Grafik Polarisasi II Untuk Weld Metal Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm Dengan Elektroda E7018



Data Percobaan Polarisasi III

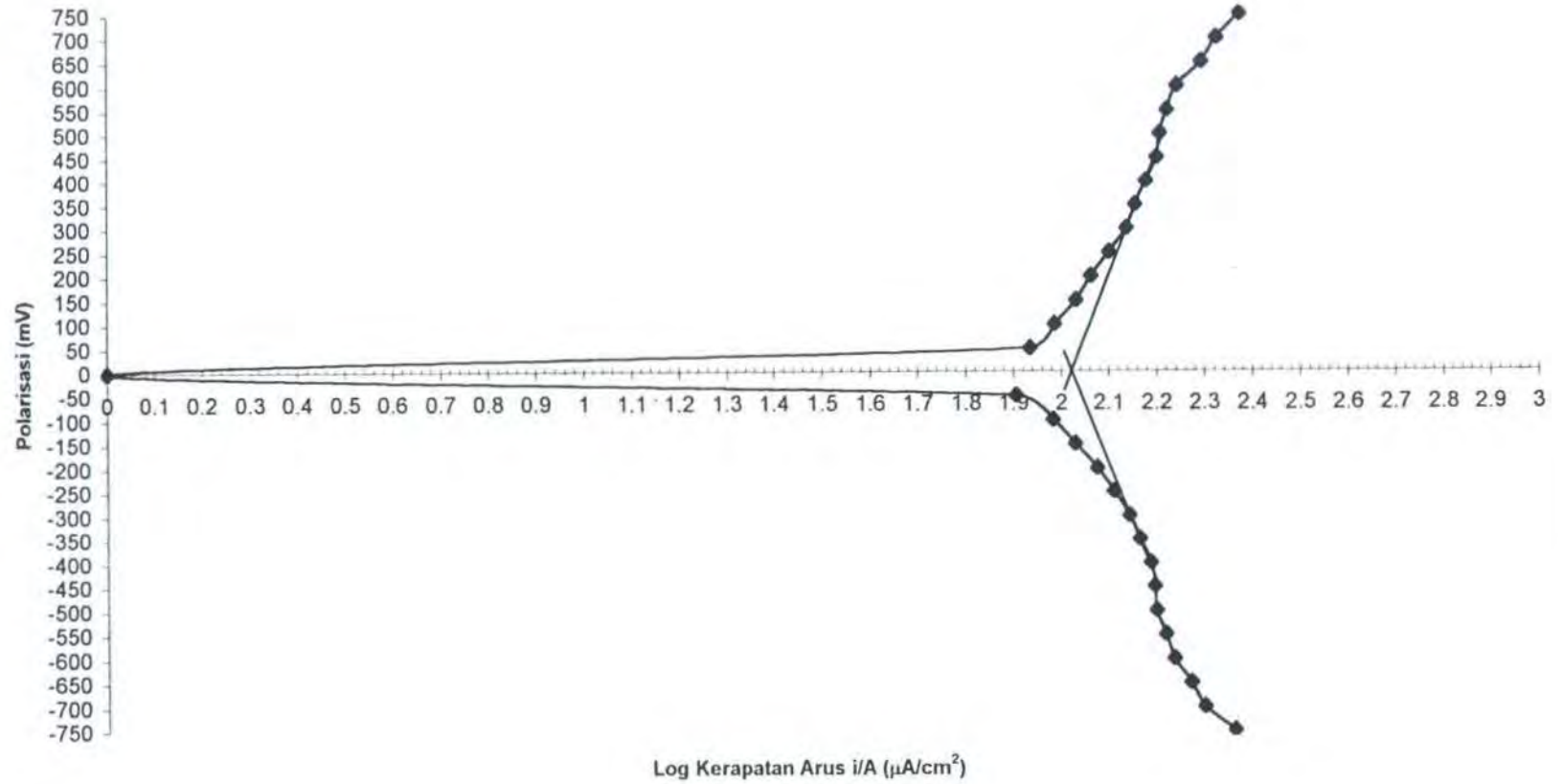
Untuk **Weld Metal** Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm

Dengan Elektroda E 7018 Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter

Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V ( mV )	Data Percobaan		i / A ( $\mu\text{A} / \text{cm}^2$ )	Log ( i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu\text{A}$ )		
-750	0.568	568.00	228.1124	2.358149
-700	0.492	492.00	197.5904	2.295766
-650	0.461	461.00	185.1406	2.267502
-600	0.425	425.00	170.6827	2.232190
-550	0.409	409.00	164.2570	2.215524
-500	0.391	391.00	157.0281	2.195977
-450	0.388	388.00	155.8233	2.192632
-400	0.381	381.00	153.0120	2.184726
-350	0.362	362.00	145.3815	2.162509
-300	0.344	344.00	138.1526	2.140359
-250	0.320	320.00	128.5141	2.108951
-200	0.295	295.00	118.4739	2.073623
-150	0.266	266.00	106.8273	2.028682
-100	0.239	239.00	95.9839	1.982199
-50	0.200	200.00	80.3213	1.904831
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.214	214.00	85.9438	1.934214
100	0.241	241.00	96.7871	1.985818
150	0.268	268.00	107.6305	2.031935
200	0.288	288.00	115.6627	2.063193
250	0.314	314.00	126.1044	2.100730
300	0.342	342.00	137.3494	2.137827
350	0.357	357.00	143.3735	2.156469
400	0.376	376.00	151.0040	2.178988
450	0.396	396.00	159.0361	2.201496
500	0.402	402.00	161.4458	2.208027
550	0.416	416.00	167.0683	2.222894
600	0.436	436.00	175.1004	2.243287
650	0.490	490.00	196.7871	2.293997
700	0.527	527.00	211.6466	2.325611
750	0.590	590.00	236.9478	2.374653

Grafik Polarisasi III Untuk Weld Metal Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm Dengan Elektroda E7018



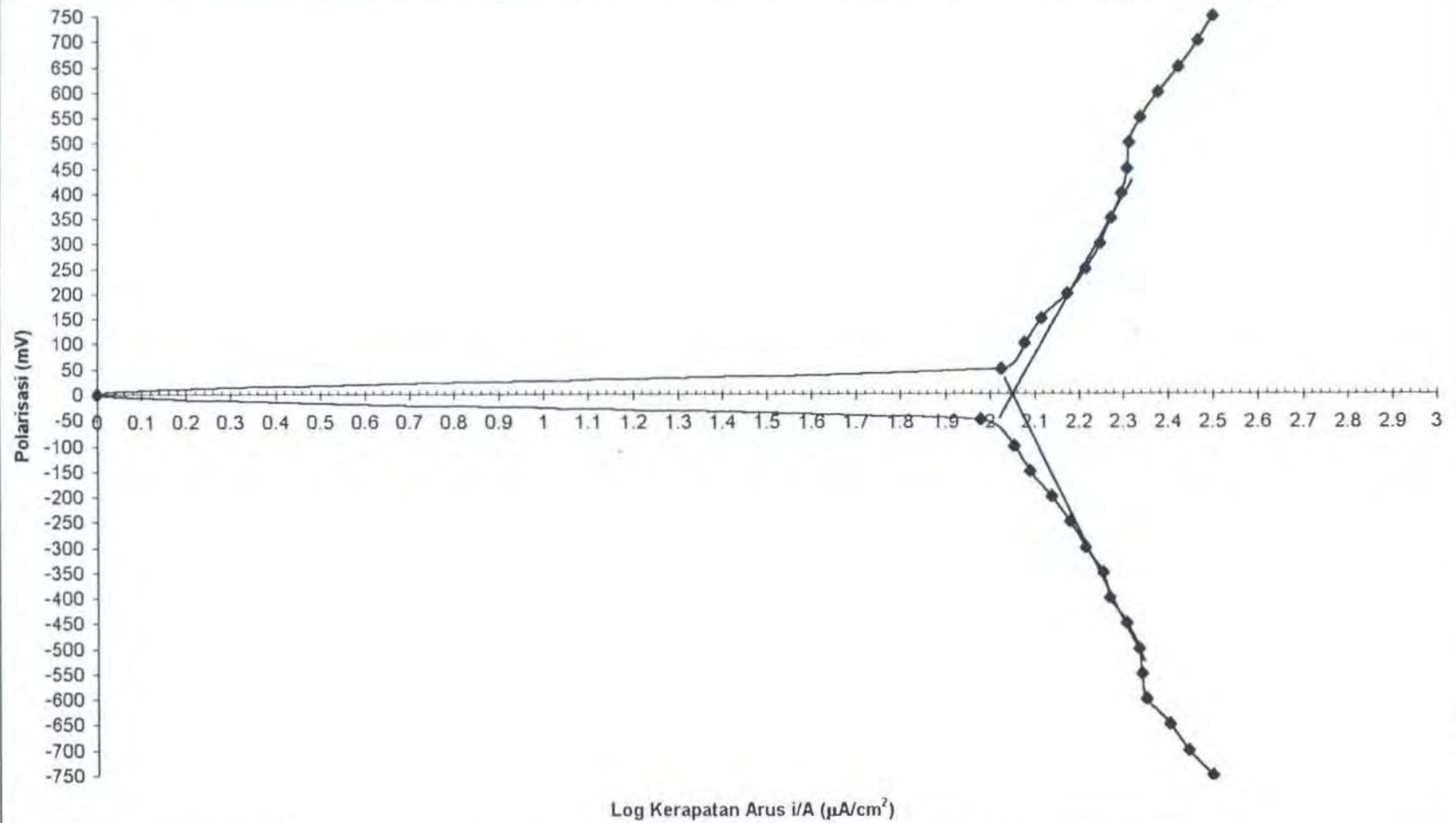


Data Percobaan Polarisasi I

Untuk **HAZ** Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm  
 Dengan Elektroda **E 7018** Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter  
 Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V ( mV )	Data Percobaan		i / A ( $\mu\text{A} / \text{cm}^2$ )	Log ( i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu\text{A}$ )		
-750	0.784	784.00	314.8594	2.498117
-700	0.691	691.00	277.5100	2.443279
-650	0.628	628.00	252.2088	2.401760
-600	0.557	557.00	223.6948	2.349656
-550	0.543	543.00	218.0723	2.338600
-500	0.535	535.00	214.8594	2.332154
-450	0.503	503.00	202.0080	2.305369
-400	0.463	463.00	185.9438	2.269382
-350	0.446	446.00	179.1165	2.253136
-300	0.409	409.00	164.2570	2.215524
-250	0.376	376.00	151.0040	2.178988
-200	0.342	342.00	137.3494	2.137827
-150	0.307	307.00	123.2932	2.090939
-100	0.283	283.00	113.6546	2.055587
-50	0.238	238.00	95.5823	1.980378
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.264	264.00	106.0241	2.025405
100	0.297	297.00	119.2771	2.076557
150	0.324	324.00	130.1205	2.114346
200	0.371	371.00	148.9960	2.173175
250	0.408	408.00	163.8554	2.214461
300	0.440	440.00	176.7068	2.247253
350	0.467	467.00	187.5502	2.273118
400	0.492	492.00	197.5904	2.295766
450	0.506	506.00	203.2129	2.307951
500	0.510	510.00	204.8193	2.311371
550	0.542	542.00	217.6707	2.337800
600	0.593	593.00	238.1526	2.376855
650	0.658	658.00	264.2570	2.422027
700	0.729	729.00	292.7711	2.466528
750	0.787	787.00	316.0643	2.499775

Grafik Polarisasi I Untuk HAZ Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm Dengan Elektroda E7018



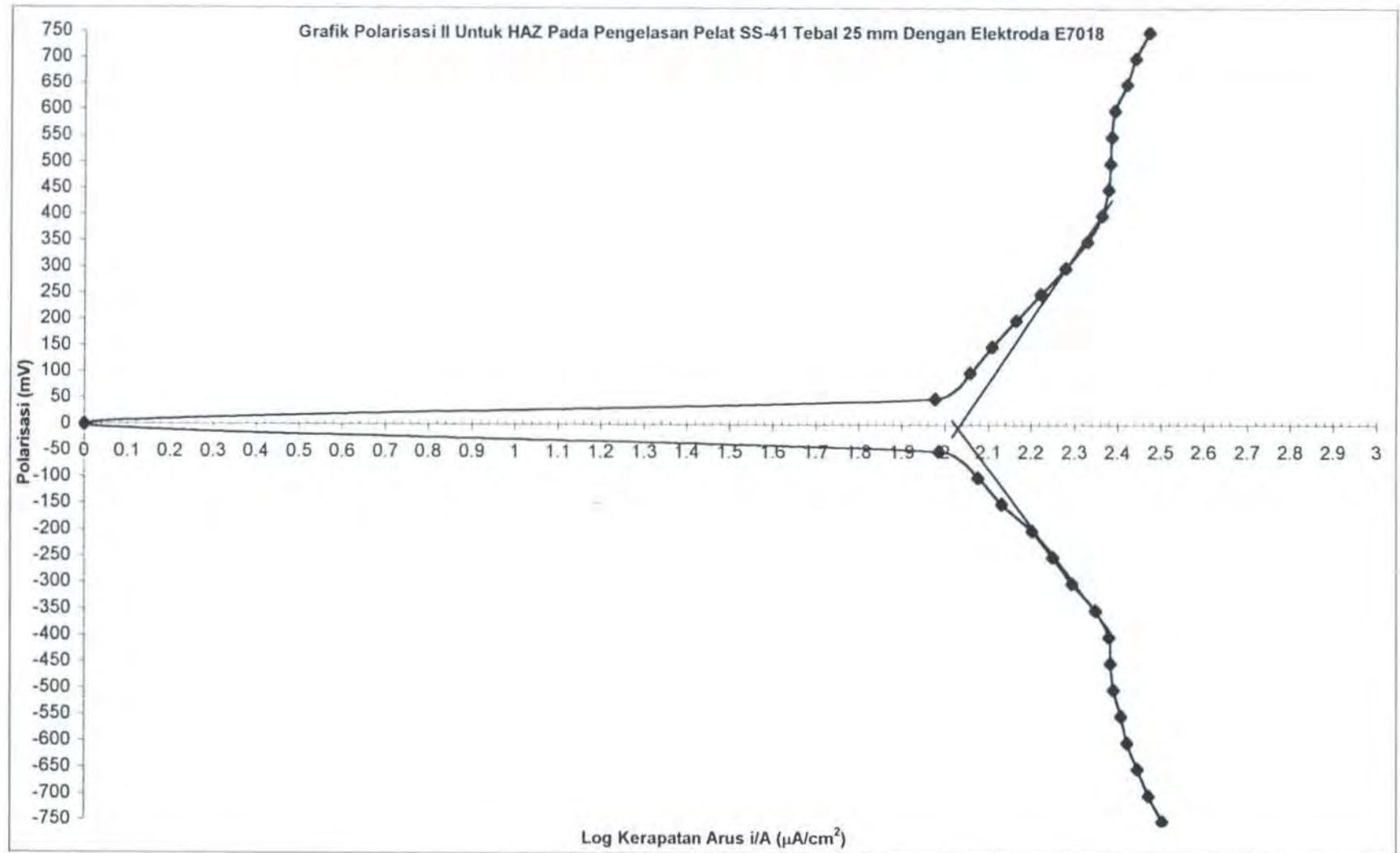


Data Percobaan Polarisasi II

Untuk **HAZ** Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm  
 Dengan Elektroda E 7018 Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter  
 Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V ( mV )	Data Percobaan		i / A ( $\mu$ A / cm <sup>2</sup> )	Log ( i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu$ A )		
-750	0.794	794.00	318.8755	2.503621
-700	0.738	738.00	296.3855	2.471857
-650	0.697	697.00	279.9197	2.447033
-600	0.659	659.00	264.6586	2.422686
-550	0.637	637.00	255.8233	2.407940
-500	0.613	613.00	246.1847	2.391261
-450	0.602	602.00	241.7671	2.383397
-400	0.598	598.00	240.1606	2.380502
-350	0.557	557.00	223.6948	2.349656
-300	0.491	491.00	197.1888	2.294882
-250	0.443	443.00	177.9116	2.250204
-200	0.397	397.00	159.4378	2.202591
-150	0.337	337.00	135.3414	2.131431
-100	0.297	297.00	119.2771	2.076557
-50	0.241	241.00	96.7871	1.985818
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.236	236.00	94.7791	1.976713
100	0.284	284.00	114.0562	2.057119
150	0.319	319.00	128.1124	2.107591
200	0.364	364.00	146.1847	2.164902
250	0.415	415.00	166.6667	2.221849
300	0.473	473.00	189.9598	2.278662
350	0.531	531.00	213.2530	2.328895
400	0.573	573.00	230.1205	2.361955
450	0.594	594.00	238.5542	2.377587
500	0.599	599.00	240.5622	2.381227
550	0.604	604.00	242.5703	2.384838
600	0.614	614.00	246.5863	2.391969
650	0.655	655.00	263.0522	2.420042
700	0.687	687.00	275.9036	2.440757
750	0.738	738.00	296.3855	2.471857

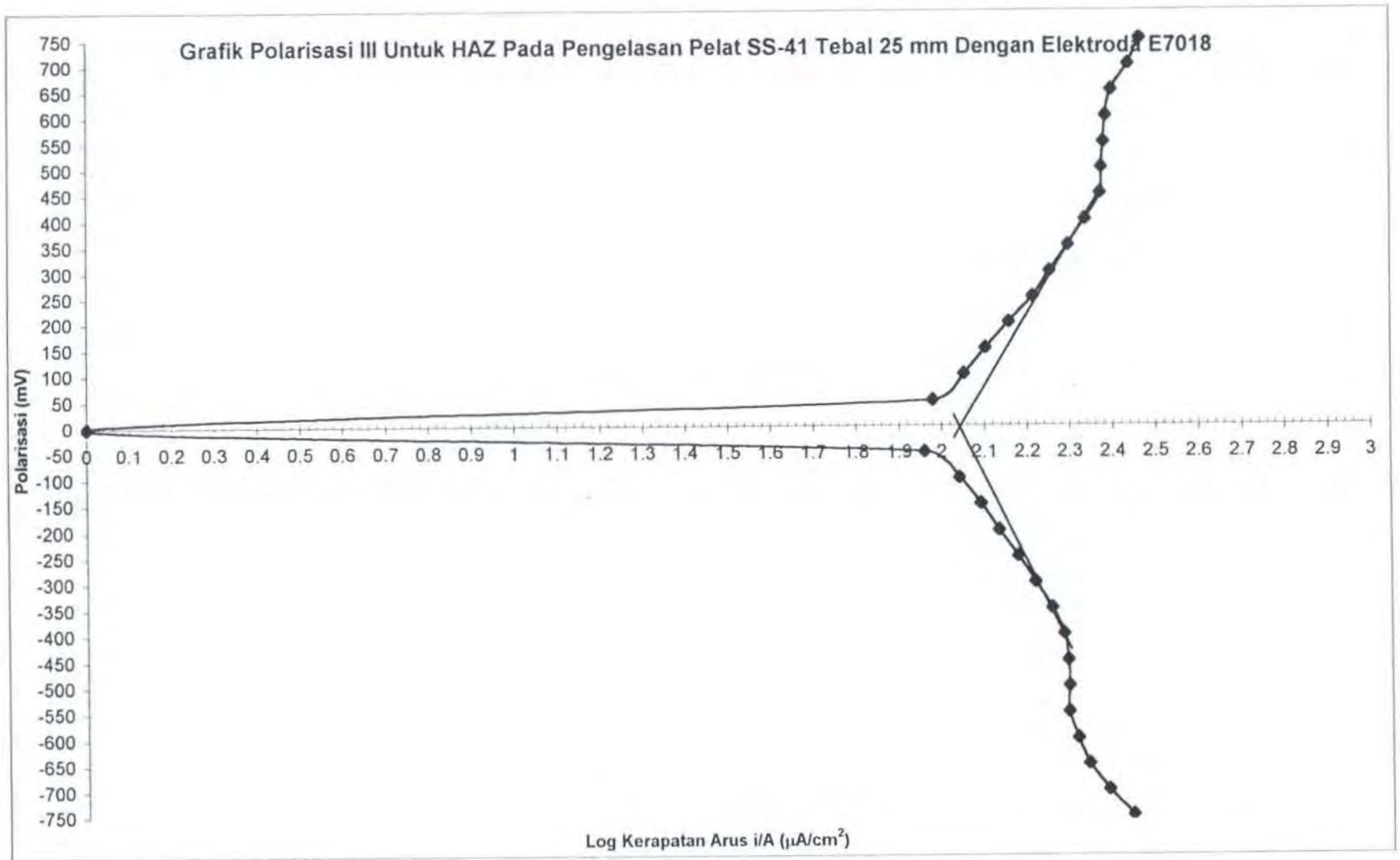




### Data Percobaan Polarisasi III

Untuk **HAZ** Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm  
 Dengan Elektroda E 7018 Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter  
 Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V ( mV )	Data Percobaan		i / A ( $\mu\text{A} / \text{cm}^2$ )	Log ( i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu\text{A}$ )		
-750	0.687	687.00	275.9036	2.440757
-700	0.604	604.00	242.5703	2.384838
-650	0.543	543.00	218.0723	2.338600
-600	0.512	512.00	205.6225	2.313071
-550	0.487	487.00	195.5823	2.291330
-500	0.489	489.00	196.3855	2.293110
-450	0.486	486.00	195.1807	2.290437
-400	0.476	476.00	191.1647	2.281408
-350	0.447	447.00	179.5181	2.254108
-300	0.409	409.00	164.2570	2.215524
-250	0.373	373.00	149.7992	2.175509
-200	0.337	337.00	135.3414	2.131431
-150	0.306	306.00	122.8916	2.089522
-100	0.274	274.00	110.0402	2.041551
-50	0.227	227.00	91.1647	1.959827
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.237	237.00	95.1807	1.978549
100	0.281	281.00	112.8514	2.052507
150	0.315	315.00	126.5060	2.102111
200	0.358	358.00	143.7751	2.157684
250	0.407	407.00	163.4538	2.213395
300	0.446	446.00	179.1165	2.253136
350	0.492	492.00	197.5904	2.295766
400	0.539	539.00	216.4659	2.335389
450	0.586	586.00	235.3414	2.371698
500	0.589	589.00	236.5462	2.373916
550	0.597	597.00	239.7590	2.379775
600	0.604	604.00	242.5703	2.384838
650	0.622	622.00	249.7992	2.397591
700	0.682	682.00	273.8956	2.437585
750	0.726	726.00	291.5663	2.464737





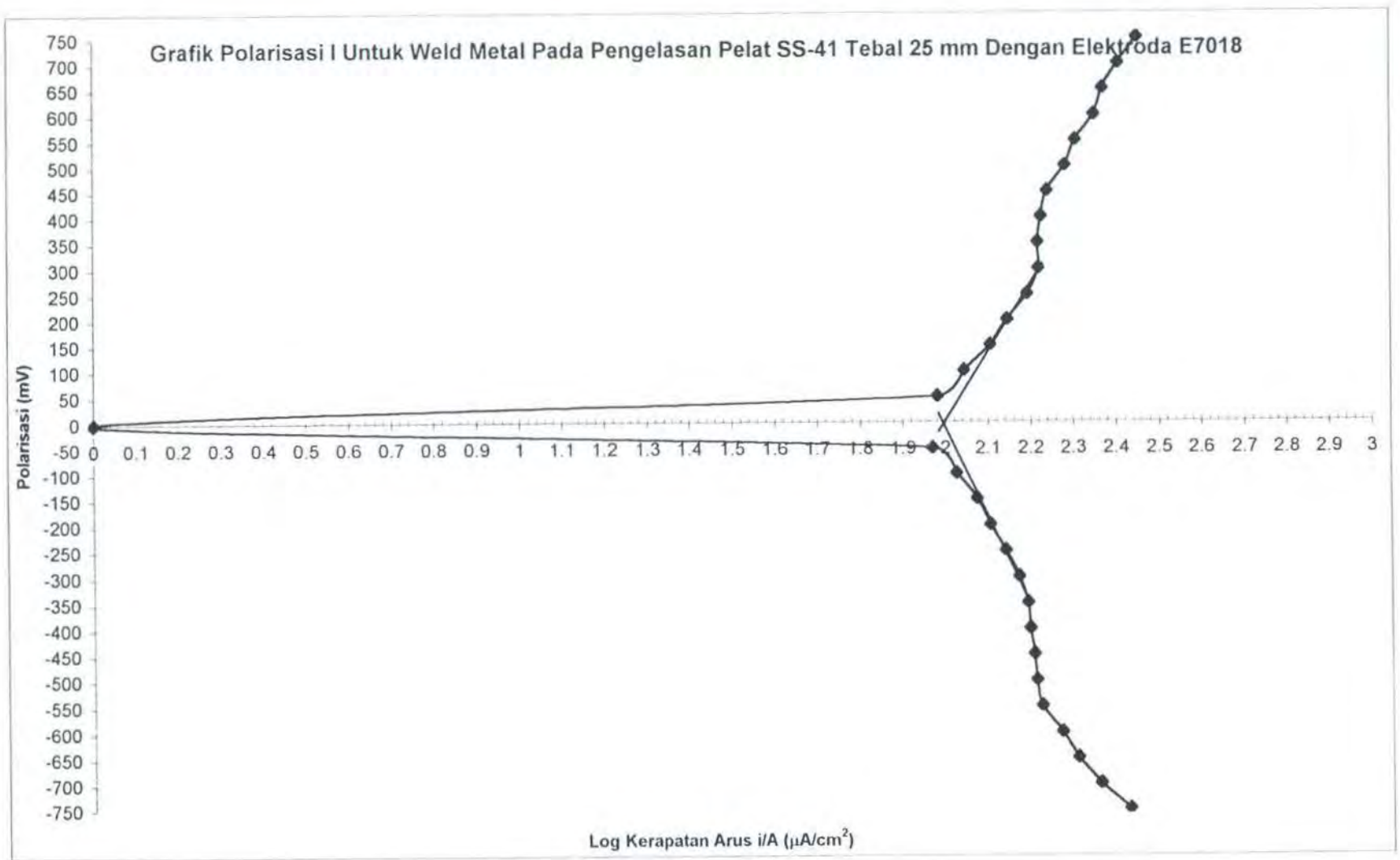
# Data Percobaan Polarisasi I

Untuk Weld Metal Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm

Dengan Elektroda E 7018 Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter

Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V ( mV )	Data Percobaan		i / A ( $\mu$ A / cm <sup>2</sup> )	Log ( i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu$ A )		
-750	0.664	664.00	266.6667	2.425969
-700	0.568	568.00	228.1124	2.358149
-650	0.504	504.00	202.4096	2.306231
-600	0.463	463.00	185.9438	2.269382
-550	0.415	415.00	166.6667	2.221849
-500	0.403	403.00	161.8474	2.209106
-450	0.399	399.00	160.2410	2.204774
-400	0.390	390.00	156.6265	2.194865
-350	0.386	386.00	155.0201	2.190388
-300	0.368	368.00	147.7912	2.169648
-250	0.343	343.00	137.7510	2.139095
-200	0.316	316.00	126.9076	2.103488
-150	0.294	294.00	118.0723	2.072148
-100	0.263	263.00	105.6225	2.023756
-50	0.232	232.00	93.1727	1.969289
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.238	238.00	95.5823	1.980378
100	0.275	275.00	110.4418	2.043133
150	0.317	317.00	127.3092	2.104860
200	0.348	348.00	139.7590	2.145380
250	0.388	388.00	155.8233	2.192632
300	0.412	412.00	165.4618	2.218698
350	0.410	410.00	164.6586	2.216585
400	0.418	418.00	167.8715	2.224977
450	0.432	432.00	173.4940	2.239284
500	0.476	476.00	191.1647	2.281408
550	0.503	503.00	202.0080	2.305369
600	0.557	557.00	223.6948	2.349656
650	0.584	584.00	234.5382	2.370214
700	0.634	634.00	254.6185	2.405890
750	0.702	702.00	281.9277	2.450138





# Data Percobaan Polarisasi II

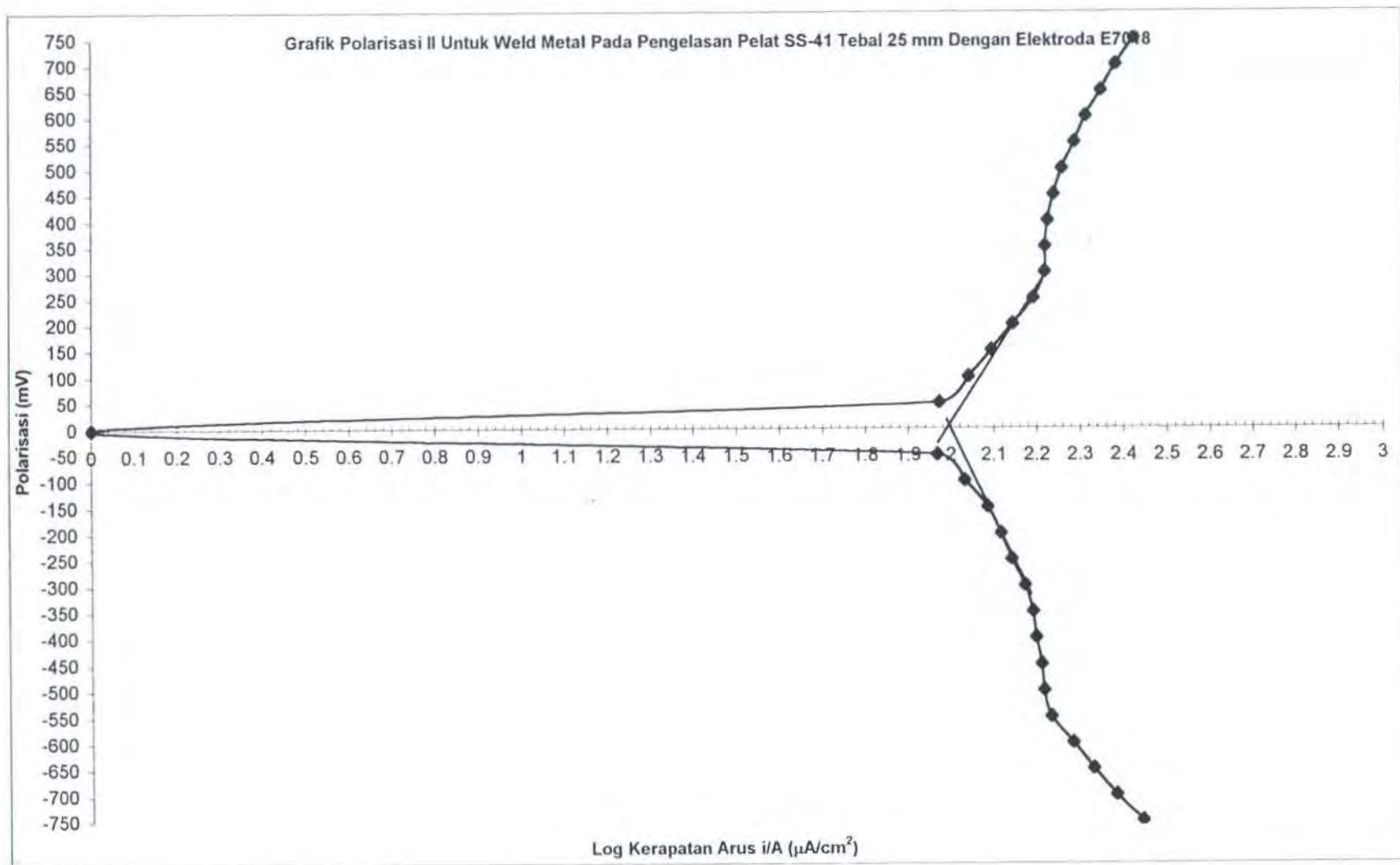
Untuk **Weld Metal** Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm

Dengan Elektroda E 7018 Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter

Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V ( mV )	Data Percobaan		i / A ( $\mu$ A / cm <sup>2</sup> )	Log ( i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu$ A )		
-750	0.683	683.00	274.2972	2.438221
-700	0.594	594.00	238.5542	2.377587
-650	0.527	527.00	211.6466	2.325611
-600	0.473	473.00	189.9598	2.278662
-550	0.421	421.00	169.0763	2.228083
-500	0.406	406.00	163.0522	2.212327
-450	0.401	401.00	161.0442	2.206945
-400	0.390	390.00	156.6265	2.194865
-350	0.384	384.00	154.2169	2.188132
-300	0.368	368.00	147.7912	2.169648
-250	0.343	343.00	137.7510	2.139095
-200	0.324	324.00	130.1205	2.114346
-150	0.302	302.00	121.2851	2.083808
-100	0.267	267.00	107.2289	2.030312
-50	0.231	231.00	92.7711	1.967413
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.233	233.00	93.5743	1.971157
100	0.273	273.00	109.6386	2.039963
150	0.309	309.00	124.0964	2.093759
200	0.347	347.00	139.3574	2.144130
250	0.387	387.00	155.4217	2.191512
300	0.412	412.00	165.4618	2.218698
350	0.413	413.00	165.8635	2.219751
400	0.418	418.00	167.8715	2.224977
450	0.432	432.00	173.4940	2.239284
500	0.452	452.00	181.5261	2.258939
550	0.483	483.00	193.9759	2.287748
600	0.514	514.00	206.4257	2.314764
650	0.557	557.00	223.6948	2.349656
700	0.602	602.00	241.7671	2.383397
750	0.664	664.00	266.6667	2.425969





### Data Percobaan Polarisasi III

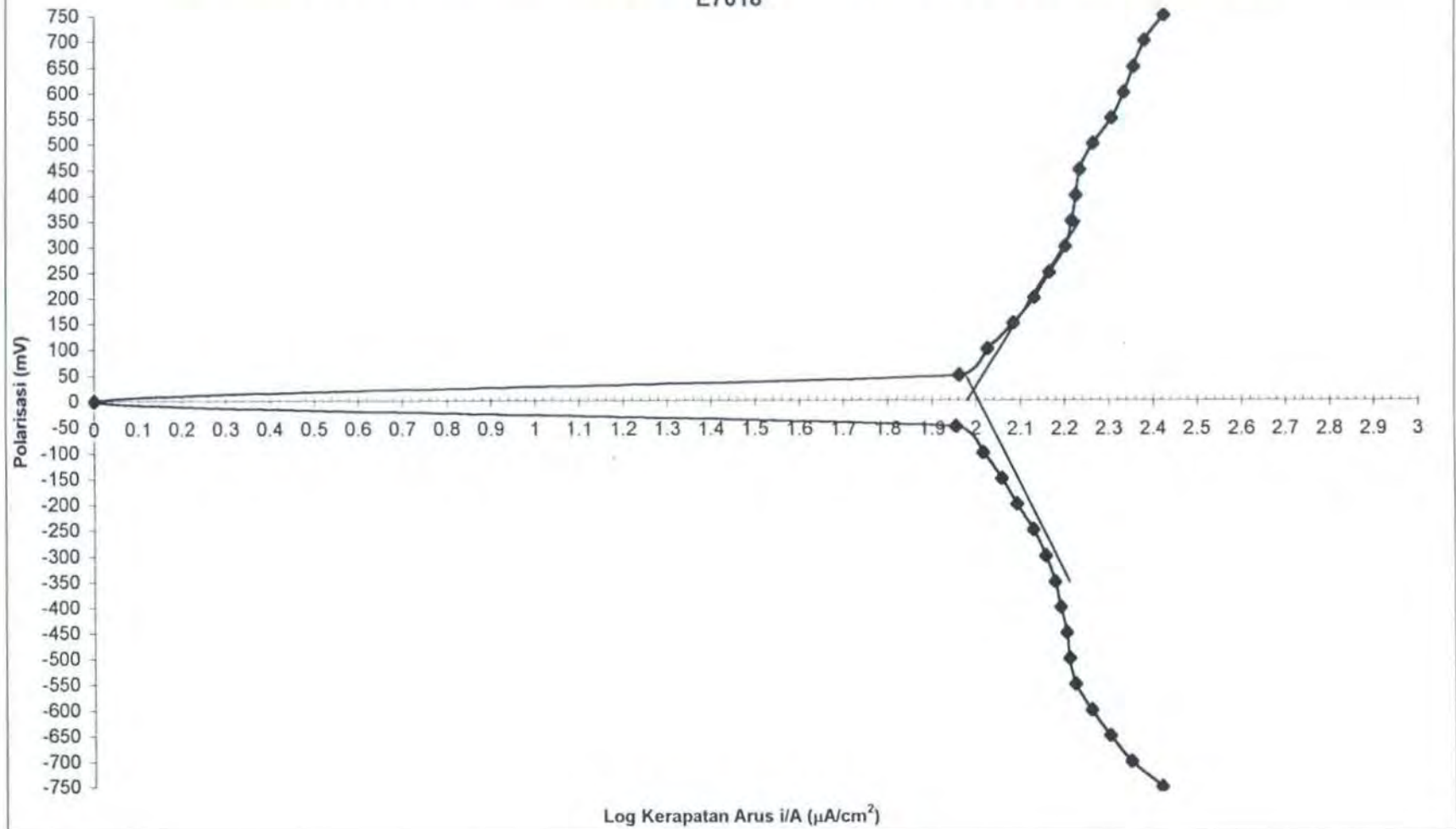
Untuk **Weld Metal** Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm

Dengan Elektroda E 7018 Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter

Dengan Luasan Spesimen  $2.49 \text{ cm}^2$

V ( mV )	Data Percobaan		i / A ( $\mu\text{A} / \text{cm}^2$ )	Log ( i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu\text{A}$ )		
-750	0.652	652.00	261.8474	2.418048
-700	0.554	554.00	222.4900	2.347310
-650	0.497	497.00	199.5984	2.300157
-600	0.452	452.00	181.5261	2.258939
-550	0.415	415.00	166.6667	2.221849
-500	0.403	403.00	161.8474	2.209106
-450	0.397	397.00	159.4378	2.202591
-400	0.385	385.00	154.6185	2.189261
-350	0.374	374.00	150.2008	2.176672
-300	0.357	357.00	143.3735	2.156469
-250	0.334	334.00	134.1365	2.127547
-200	0.307	307.00	123.2932	2.090939
-150	0.284	284.00	114.0562	2.057119
-100	0.258	258.00	103.6145	2.015420
-50	0.224	224.00	89.9598	1.954049
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.228	228.00	91.5663	1.961735
100	0.264	264.00	106.0241	2.025405
150	0.302	302.00	121.2851	2.083808
200	0.337	337.00	135.3414	2.131431
250	0.364	364.00	146.1847	2.164902
300	0.396	396.00	159.0361	2.201496
350	0.410	410.00	164.6586	2.216585
400	0.418	418.00	167.8715	2.224977
450	0.426	426.00	171.0843	2.233210
500	0.457	457.00	183.5341	2.263717
550	0.503	503.00	202.0080	2.305369
600	0.536	536.00	215.2610	2.332965
650	0.564	564.00	226.5060	2.355080
700	0.597	597.00	239.7590	2.379775
750	0.661	661.00	265.4618	2.424002

Grafik Polarisasi III Untuk Weld Metal Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm Dengan Elektroda E7018





# Data Percobaan Polarisasi I

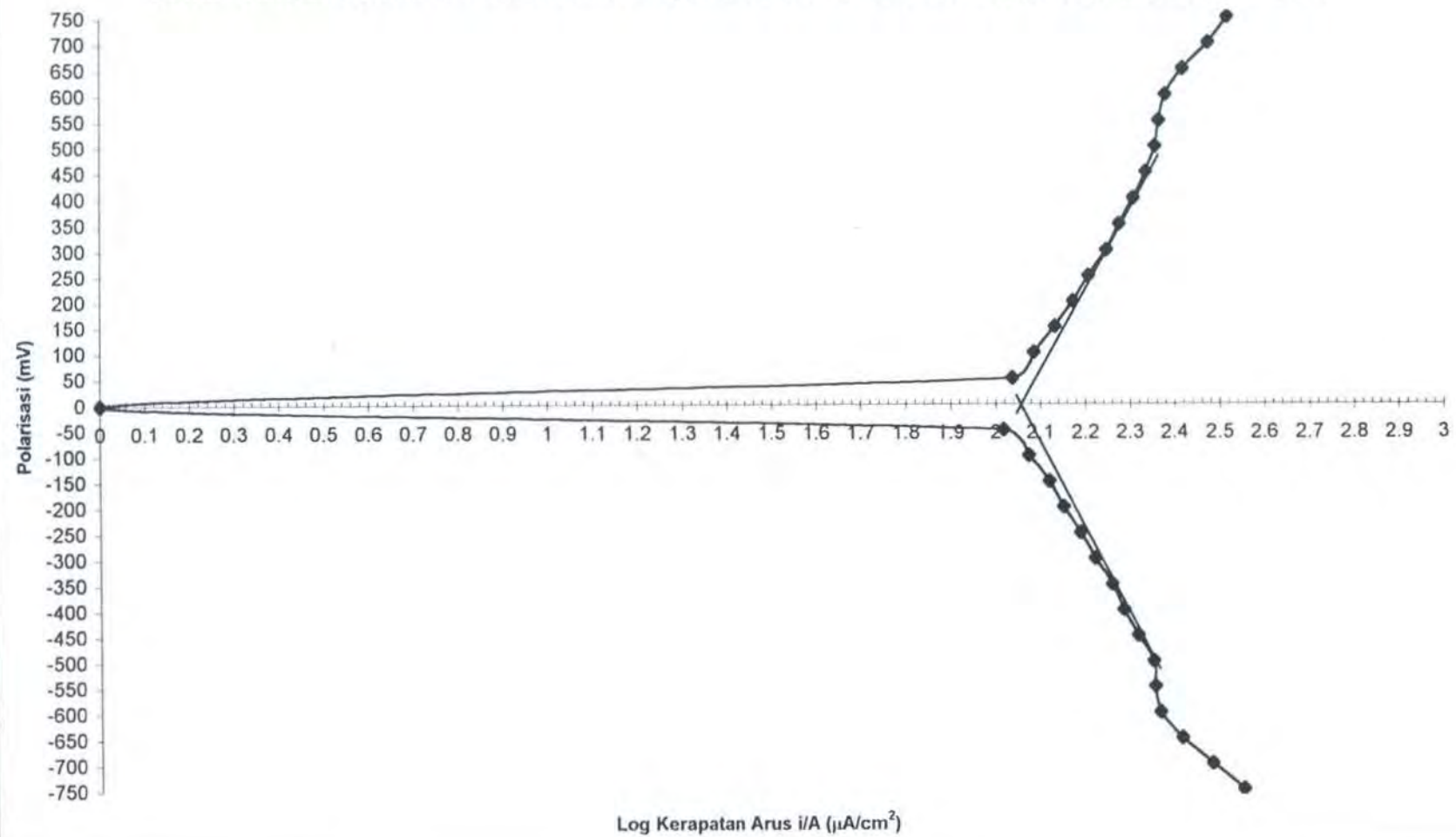
Untuk **Weld Metal** Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm

Dengan Elektroda **E 7016** Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter

Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V ( mV )	Data Percobaan		i / A ( $\mu\text{A} / \text{cm}^2$ )	Log ( i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu\text{A}$ )		
-750	0.880	880.00	353.4137	2.548283
-700	0.751	751.00	301.6064	2.479441
-650	0.643	643.00	258.2329	2.412012
-600	0.576	576.00	231.3253	2.364223
-550	0.561	561.00	225.3012	2.352764
-500	0.557	557.00	223.6948	2.349656
-450	0.514	514.00	206.4257	2.314764
-400	0.478	478.00	191.9679	2.283229
-350	0.450	450.00	180.7229	2.257013
-300	0.414	414.00	166.2651	2.220801
-250	0.384	384.00	154.2169	2.188132
-200	0.352	352.00	141.3655	2.150343
-150	0.327	327.00	131.3253	2.118348
-100	0.295	295.00	118.4739	2.073623
-50	0.259	259.00	104.0161	2.017100
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.271	271.00	108.8353	2.036770
100	0.303	303.00	121.6867	2.085243
150	0.337	337.00	135.3414	2.131431
200	0.370	370.00	148.5944	2.172002
250	0.401	401.00	161.0442	2.206945
300	0.439	439.00	176.3052	2.246265
350	0.469	469.00	188.3534	2.274973
400	0.504	504.00	202.4096	2.306231
450	0.538	538.00	216.0643	2.334583
500	0.564	564.00	226.5060	2.355080
550	0.575	575.00	230.9237	2.363468
600	0.596	596.00	239.3574	2.379047
650	0.651	651.00	261.4458	2.417382
700	0.742	742.00	297.9920	2.474205
750	0.817	817.00	328.1124	2.516023

Grafik Polarisasi I Untuk Weld Metal Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm Dengan Elektroda E7016





# Data Percobaan Polarisasi II

Untuk **Weld Metal** Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm

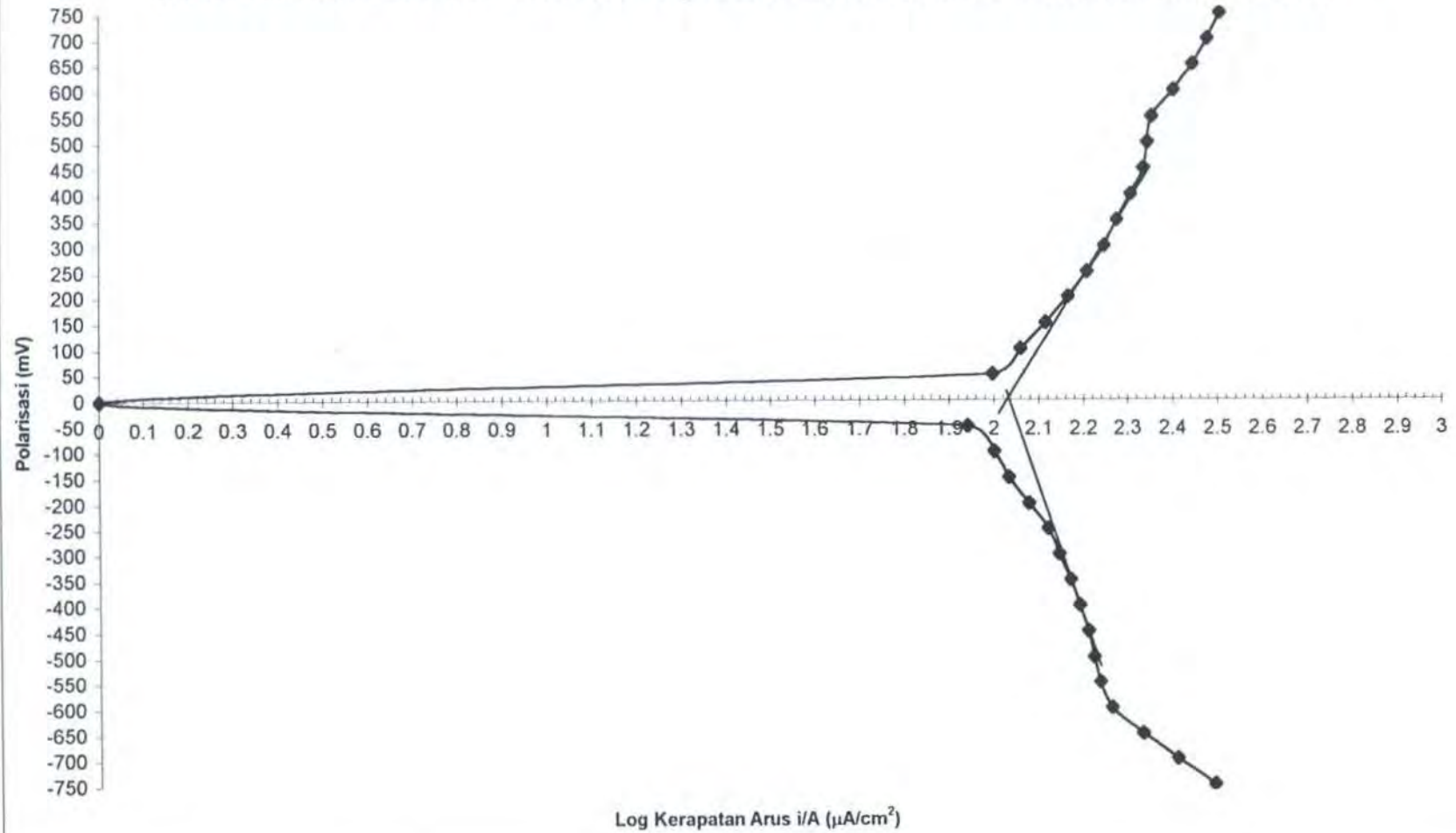
Dengan Elektroda E 7016 Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter

Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V ( mV )	Data Percobaan X		i / A ( $\mu$ A / cm <sup>2</sup> )	Log ( i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu$ A )		
-750	0.768	768.00	308.4337	2.489162
-700	0.634	634.00	254.6185	2.405890
-650	0.531	531.00	213.2530	2.328895
-600	0.453	453.00	181.9277	2.259899
-550	0.426	426.00	171.0843	2.233210
-500	0.413	413.00	165.8635	2.219751
-450	0.401	401.00	161.0442	2.206945
-400	0.384	384.00	154.2169	2.188132
-350	0.367	367.00	147.3896	2.168467
-300	0.346	346.00	138.9558	2.142877
-250	0.327	327.00	131.3253	2.118348
-200	0.297	297.00	119.2771	2.076557
-150	0.268	268.00	107.6305	2.031935
-100	0.249	249.00	100.0000	2.000000
-50	0.217	217.00	87.1486	1.940260
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.247	247.00	99.1968	1.996498
100	0.285	285.00	114.4578	2.058646
150	0.324	324.00	130.1205	2.114346
200	0.364	364.00	146.1847	2.164902
250	0.401	401.00	161.0442	2.206945
300	0.439	439.00	176.3052	2.246265
350	0.469	469.00	188.3534	2.274973
400	0.504	504.00	202.4096	2.306231
450	0.538	538.00	216.0643	2.334583
500	0.548	548.00	220.0803	2.342581
550	0.561	561.00	225.3012	2.352764
600	0.627	627.00	251.8072	2.401068
650	0.693	693.00	278.3133	2.444534
700	0.746	746.00	299.5984	2.476539
750	0.795	795.00	319.2771	2.504168



Grafik Polarisasi II Untuk Weld Metal Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm Dengan Elektroda E7016



### Data Percobaan Polarisasi III

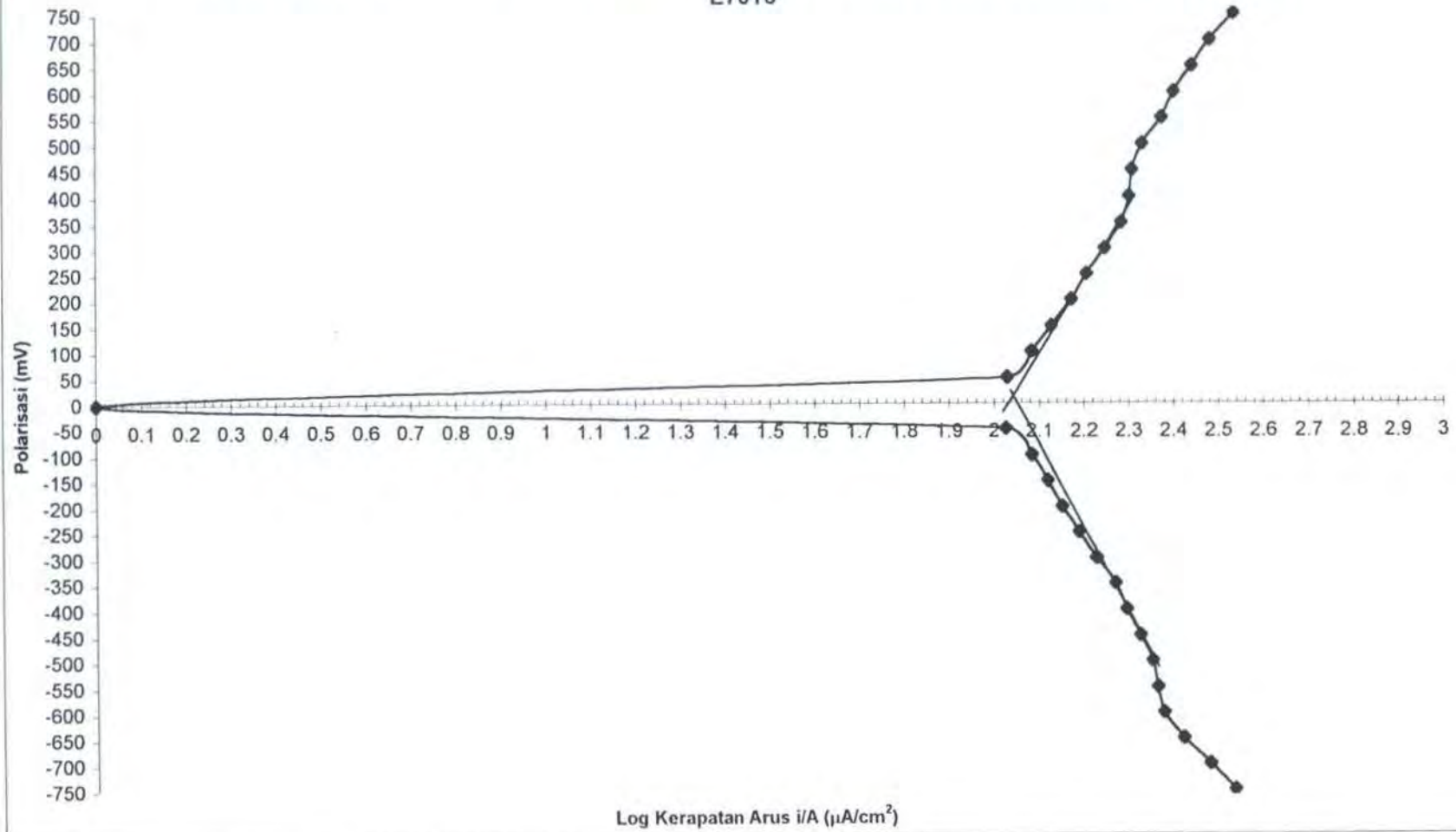
Untuk **Weld Metal** Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm

Dengan Elektroda **E 7016** Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter

Dengan Luasan Spesimen  $2.49 \text{ cm}^2$

V (mV)	Data Percobaan		i / A ( $\mu\text{A} / \text{cm}^2$ )	Log (i / A)
	i (mA)	i ( $\mu\text{A}$ )		
-750	0.847	847.00	340.1606	2.531684
-700	0.746	746.00	299.5984	2.476539
-650	0.653	653.00	262.2490	2.418714
-600	0.591	591.00	237.3494	2.375388
-550	0.573	573.00	230.1205	2.361955
-500	0.557	557.00	223.6948	2.349656
-450	0.524	524.00	210.4418	2.323132
-400	0.489	489.00	196.3855	2.293110
-350	0.462	462.00	185.5422	2.268443
-300	0.419	419.00	168.2731	2.226015
-250	0.384	384.00	154.2169	2.188132
-200	0.352	352.00	141.3655	2.150343
-150	0.327	327.00	131.3253	2.118348
-100	0.301	301.00	120.8835	2.082367
-50	0.264	264.00	106.0241	2.025405
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.266	266.00	106.8273	2.028682
100	0.301	301.00	120.8835	2.082367
150	0.334	334.00	134.1365	2.127547
200	0.370	370.00	148.5944	2.172002
250	0.401	401.00	161.0442	2.206945
300	0.439	439.00	176.3052	2.246265
350	0.478	478.00	191.9679	2.283229
400	0.498	498.00	200.0000	2.301030
450	0.506	506.00	203.2129	2.307951
500	0.533	533.00	214.0562	2.330528
550	0.589	589.00	236.5462	2.373916
600	0.627	627.00	251.8072	2.401068
650	0.687	687.00	275.9036	2.440757
700	0.754	754.00	302.8112	2.481172
750	0.851	851.00	341.7671	2.533730

Grafik Polarisasi III Untuk Weld Metal Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm Dengan Elektroda E7016



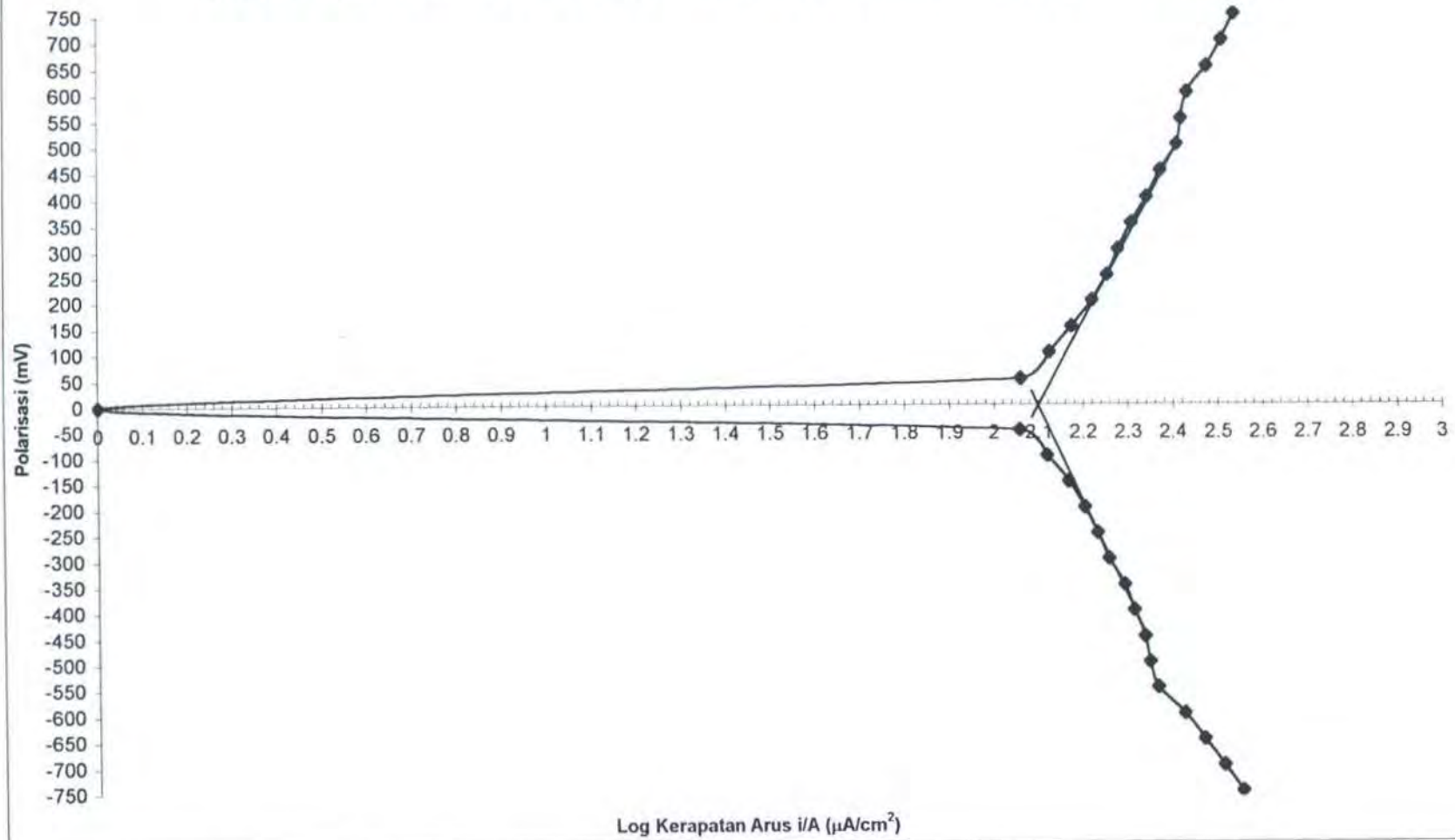


Data Percobaan Polarisasi I

Untuk HAZ Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm  
 Dengan Elektroda E 7016 Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter  
 Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V ( mV )	Data Percobaan X		i / A ( $\mu$ A / cm <sup>2</sup> )	Log ( i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu$ A )		
-750	0.884	884.00	355.0201	2.550253
-700	0.804	804.00	322.8916	2.509057
-650	0.726	726.00	291.5663	2.464737
-600	0.658	658.00	264.2570	2.422027
-550	0.573	573.00	230.1205	2.361955
-500	0.551	551.00	221.2851	2.344952
-450	0.537	537.00	215.6627	2.333775
-400	0.510	510.00	204.8193	2.311371
-350	0.486	486.00	195.1807	2.290437
-300	0.448	448.00	179.9197	2.255079
-250	0.423	423.00	169.8795	2.230141
-200	0.397	397.00	159.4378	2.202591
-150	0.365	365.00	146.5863	2.166094
-100	0.327	327.00	131.3253	2.118348
-50	0.284	284.00	114.0562	2.057119
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.286	286.00	114.8594	2.060167
100	0.331	331.00	132.9317	2.123629
150	0.372	372.00	149.3976	2.174344
200	0.413	413.00	165.8635	2.219751
250	0.446	446.00	179.1165	2.253136
300	0.472	472.00	189.5582	2.277743
350	0.506	506.00	203.2129	2.307951
400	0.547	547.00	219.6787	2.341788
450	0.586	586.00	235.3414	2.371698
500	0.637	637.00	255.8233	2.407940
550	0.652	652.00	261.8474	2.418048
600	0.673	673.00	270.2811	2.431816
650	0.743	743.00	298.3936	2.474789
700	0.802	802.00	322.0884	2.507975
750	0.853	853.00	342.5703	2.534750

Grafik Polarisasi I Untuk HAZ Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm Dengan Elektroda E7016



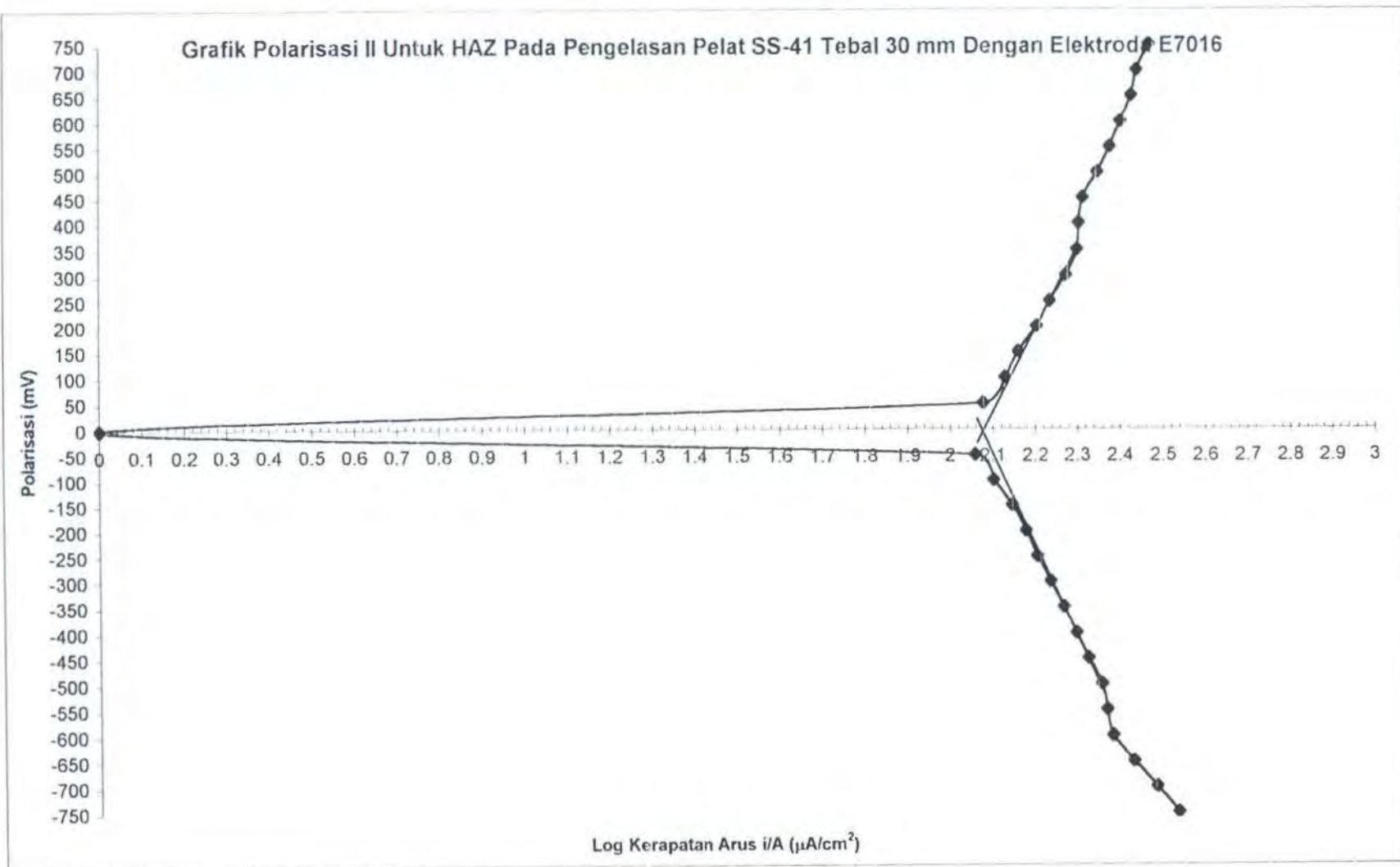


# Data Percobaan Polarisasi II

Untuk HAZ Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm  
 Dengan Elektroda E 7016 Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter  
 Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V (mV)	Data Percobaan		i / A	Log (i / A)
	i (mA)	i (μA)	(μA / cm <sup>2</sup> )	
-750	0.844	844.00	338.9558	2.530143
-700	0.752	752.00	302.0080	2.480018
-650	0.664	664.00	266.6667	2.425969
-600	0.594	594.00	238.5542	2.377587
-550	0.577	577.00	231.7269	2.364976
-500	0.562	562.00	225.7028	2.353537
-450	0.523	523.00	210.0402	2.322302
-400	0.490	490.00	196.7871	2.293997
-350	0.458	458.00	183.9357	2.264666
-300	0.426	426.00	171.0843	2.233210
-250	0.397	397.00	159.4378	2.202591
-200	0.374	374.00	150.2008	2.176672
-150	0.347	347.00	139.3574	2.144130
-100	0.314	314.00	126.1044	2.100730
-50	0.285	285.00	114.4578	2.058646
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.297	297.00	119.2771	2.076557
100	0.335	335.00	134.5382	2.128845
150	0.360	360.00	144.5783	2.160103
200	0.398	398.00	159.8394	2.203684
250	0.427	427.00	171.4859	2.234229
300	0.467	467.00	187.5502	2.273118
350	0.496	496.00	199.1968	2.299282
400	0.500	500.00	200.8032	2.302771
450	0.512	512.00	205.6225	2.313071
500	0.553	553.00	222.0884	2.346526
550	0.592	592.00	237.7510	2.376122
600	0.626	626.00	251.4056	2.400375
650	0.664	664.00	266.6667	2.425969
700	0.683	683.00	274.2972	2.438221
750	0.731	731.00	293.5743	2.467718



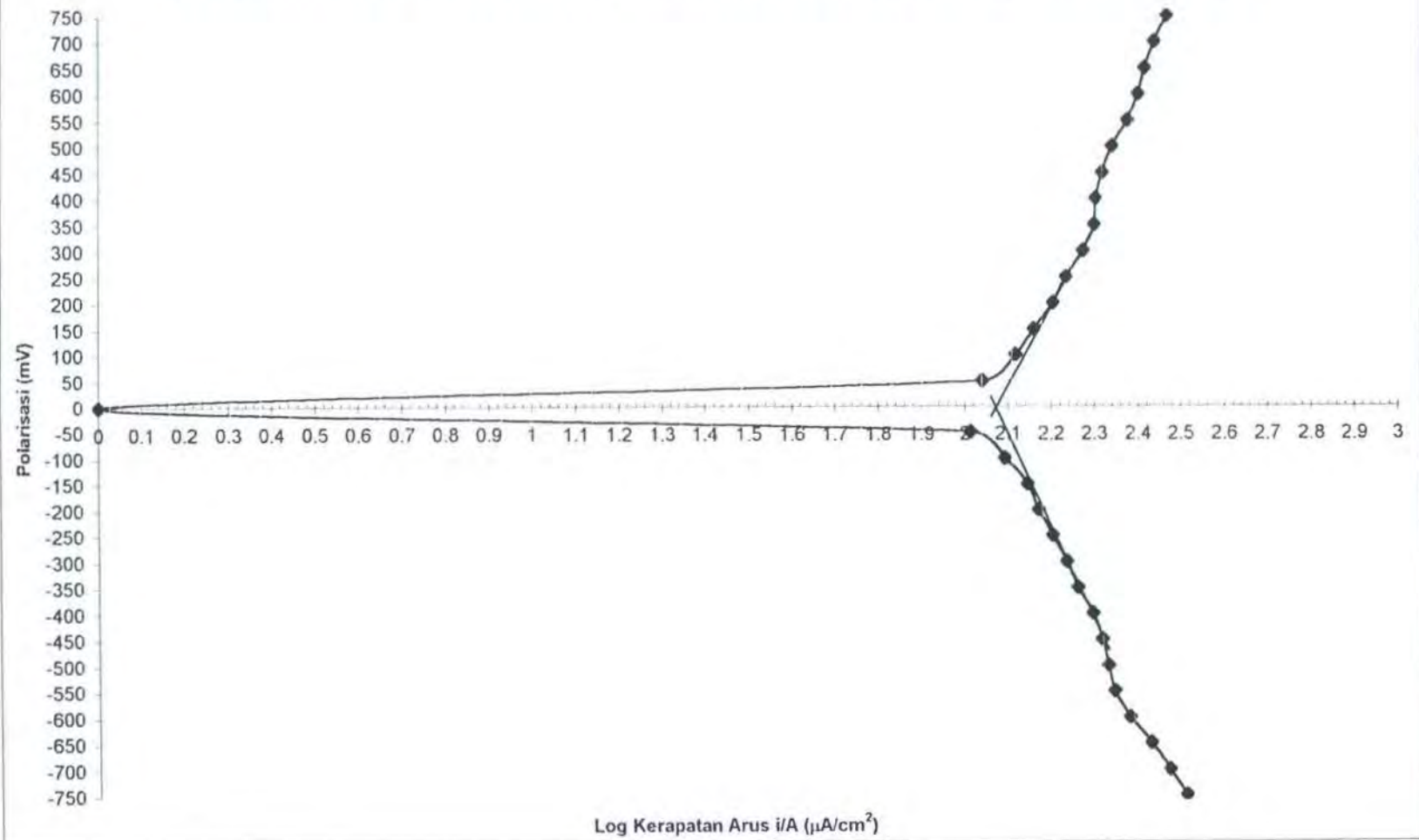


### Data Percobaan Polarisasi III

Untuk **HAZ** Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm  
 Dengan Elektroda E 7016 Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter  
 Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V (mV)	Data Percobaan		i / A ( $\mu\text{A} / \text{cm}^2$ )	Log (i / A)
	i (mA)	i ( $\mu\text{A}$ )		
-750	0.804	804.00	322.8916	2.509057
-700	0.734	734.00	294.7791	2.469497
-650	0.665	665.00	267.0683	2.426622
-600	0.594	594.00	238.5542	2.377587
-550	0.548	548.00	220.0803	2.342581
-500	0.531	531.00	213.2530	2.328895
-450	0.514	514.00	206.4257	2.314764
-400	0.490	490.00	196.7871	2.293997
-350	0.453	453.00	181.9277	2.259899
-300	0.427	427.00	171.4859	2.234229
-250	0.396	396.00	159.0361	2.201496
-200	0.368	368.00	147.7912	2.169648
-150	0.347	347.00	139.3574	2.144130
-100	0.308	308.00	123.6948	2.092351
-50	0.257	257.00	103.2129	2.013734
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.273	273.00	109.6386	2.039963
100	0.326	326.00	130.9237	2.117018
150	0.360	360.00	144.5783	2.160103
200	0.398	398.00	159.8394	2.203684
250	0.427	427.00	171.4859	2.234229
300	0.467	467.00	187.5502	2.273118
350	0.496	496.00	199.1968	2.299282
400	0.500	500.00	200.8032	2.302771
450	0.518	518.00	208.0321	2.318130
500	0.546	546.00	219.2771	2.340993
550	0.592	592.00	237.7510	2.376122
600	0.626	626.00	251.4056	2.400375
650	0.649	649.00	260.6426	2.416045
700	0.683	683.00	274.2972	2.438221
750	0.731	731.00	293.5743	2.467718

Grafik Polarisasi III Untuk HAZ Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm Dengan Elektroda E7016





Data Percobaan Polarisasi I

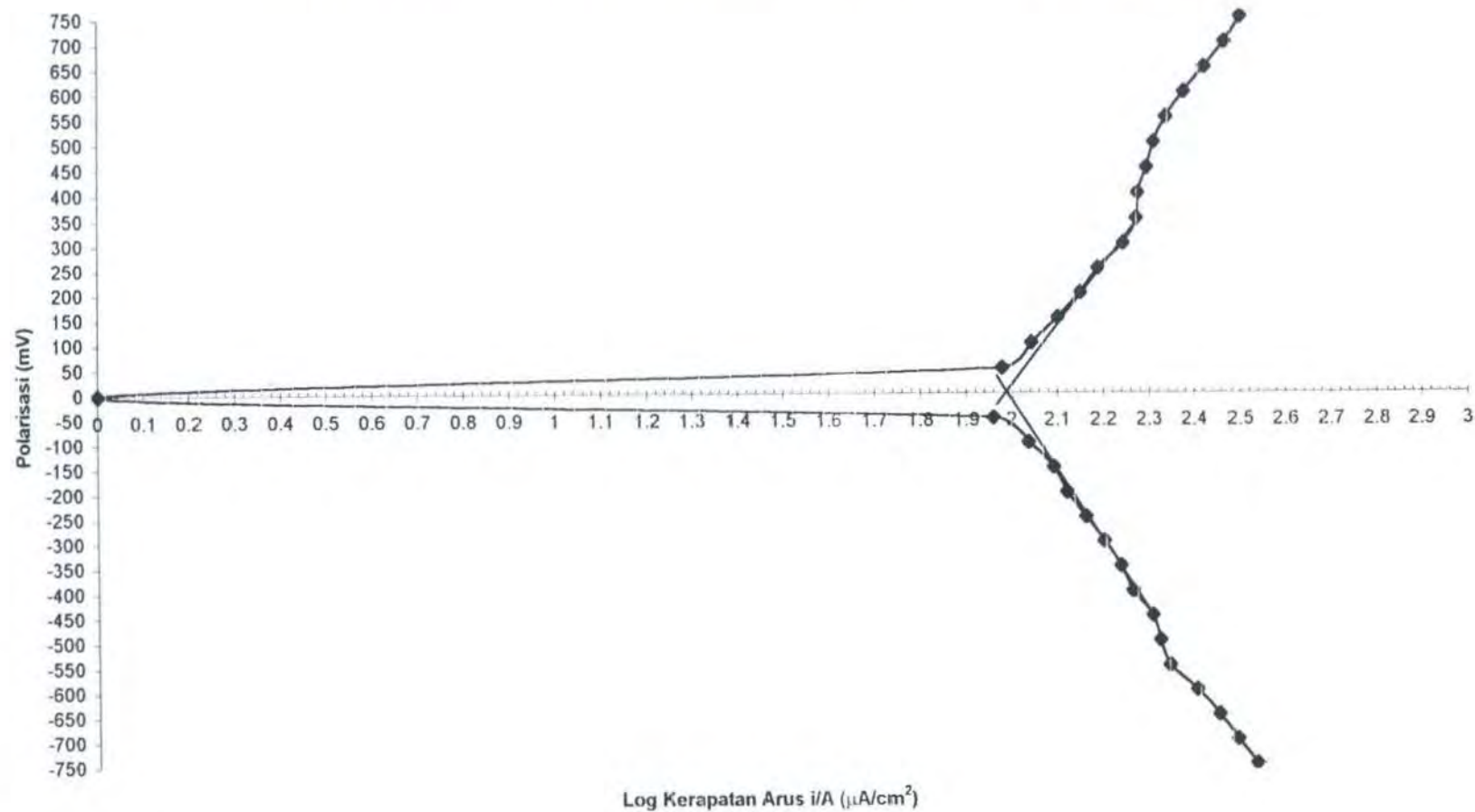
Untuk **Weld Metal** Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm

Dengan Elektroda E 7016 Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter

Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V ( mV )	Data Percobaan		i / A ( $\mu\text{A} / \text{cm}^2$ )	Log ( i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu\text{A}$ )		
-750	0.845	845.00	339.3574	2.530657
-700	0.768	768.00	308.4337	2.489162
-650	0.701	701.00	281.5261	2.449519
-600	0.628	628.00	252.2088	2.401760
-550	0.547	547.00	219.6787	2.341788
-500	0.523	523.00	210.0402	2.322302
-450	0.503	503.00	202.0080	2.305369
-400	0.455	455.00	182.7309	2.261812
-350	0.429	429.00	172.2892	2.236258
-300	0.395	395.00	158.6345	2.200398
-250	0.360	360.00	144.5783	2.160103
-200	0.328	328.00	131.7269	2.119674
-150	0.307	307.00	123.2932	2.090939
-100	0.271	271.00	108.8353	2.036770
-50	0.227	227.00	91.1647	1.959827
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.237	237.00	95.1807	1.978549
100	0.275	275.00	110.4418	2.043133
150	0.314	314.00	126.1044	2.100730
200	0.352	352.00	141.3655	2.150343
250	0.384	384.00	154.2169	2.188132
300	0.437	437.00	175.5020	2.244282
350	0.467	467.00	187.5502	2.273118
400	0.470	470.00	188.7550	2.275899
450	0.491	491.00	197.1888	2.294882
500	0.510	510.00	204.8193	2.311371
550	0.542	542.00	217.6707	2.337800
600	0.593	593.00	238.1526	2.376855
650	0.658	658.00	264.2570	2.422027
700	0.729	729.00	292.7711	2.466528
750	0.787	787.00	316.0643	2.499775

Grafik Polarisasi I Untuk Weld Metal Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm Dengan Elektroda E7016



# Data Percobaan Polarisasi II

Untuk **Weld Metal** Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm

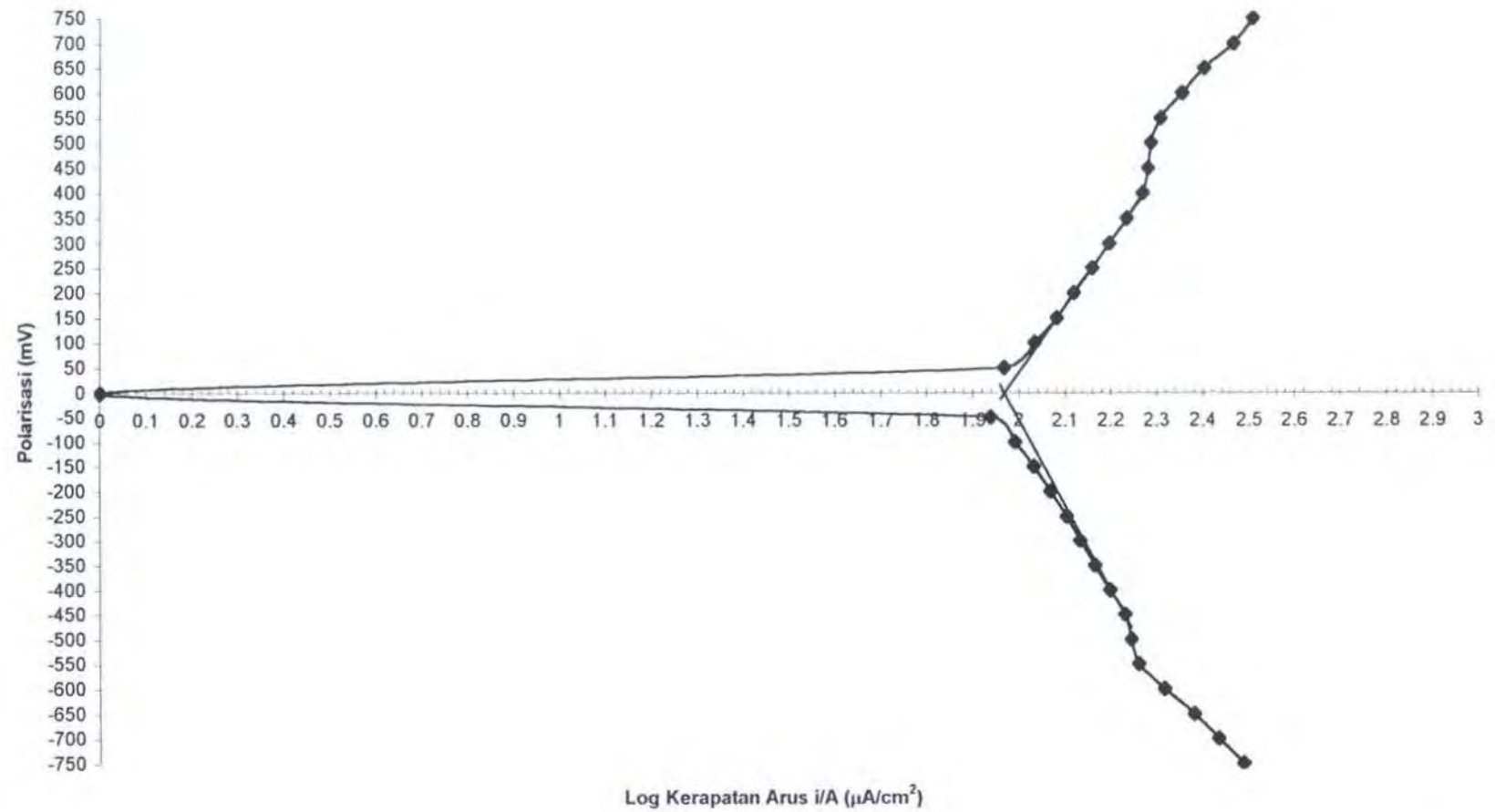
Dengan Elektroda **E 7016** Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter

Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V ( mV )	Data Percobaan		i / A ( $\mu$ A / cm <sup>2</sup> )	Log ( i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu$ A )		
-750	0.764	764.00	306.8273	2.486894
-700	0.673	673.00	270.2811	2.431816
-650	0.597	597.00	239.7590	2.379775
-600	0.516	516.00	207.2289	2.316450
-550	0.453	453.00	181.9277	2.259899
-500	0.436	436.00	175.1004	2.243287
-450	0.423	423.00	169.8795	2.230141
-400	0.392	392.00	157.4297	2.197087
-350	0.364	364.00	146.1847	2.164902
-300	0.338	338.00	135.7430	2.132717
-250	0.316	316.00	126.9076	2.103488
-200	0.291	291.00	116.8675	2.067694
-150	0.268	268.00	107.6305	2.031935
-100	0.244	244.00	97.9920	1.991190
-50	0.216	216.00	86.7470	1.938254
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.231	231.00	92.7711	1.967413
100	0.269	269.00	108.0321	2.033553
150	0.301	301.00	120.8835	2.082367
200	0.328	328.00	131.7269	2.119674
250	0.359	359.00	144.1767	2.158895
300	0.391	391.00	157.0281	2.195977
350	0.427	427.00	171.4859	2.234229
400	0.463	463.00	185.9438	2.269382
450	0.476	476.00	191.1647	2.281408
500	0.483	483.00	193.9759	2.287748
550	0.507	507.00	203.6145	2.308809
600	0.564	564.00	226.5060	2.355080
650	0.628	628.00	252.2088	2.401760
700	0.729	729.00	292.7711	2.466528
750	0.801	801.00	321.6867	2.507433



Grafik Polarisasi II Untuk Weld Metal Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm Dengan Elektroda E7016



### Data Percobaan Polarisasi III

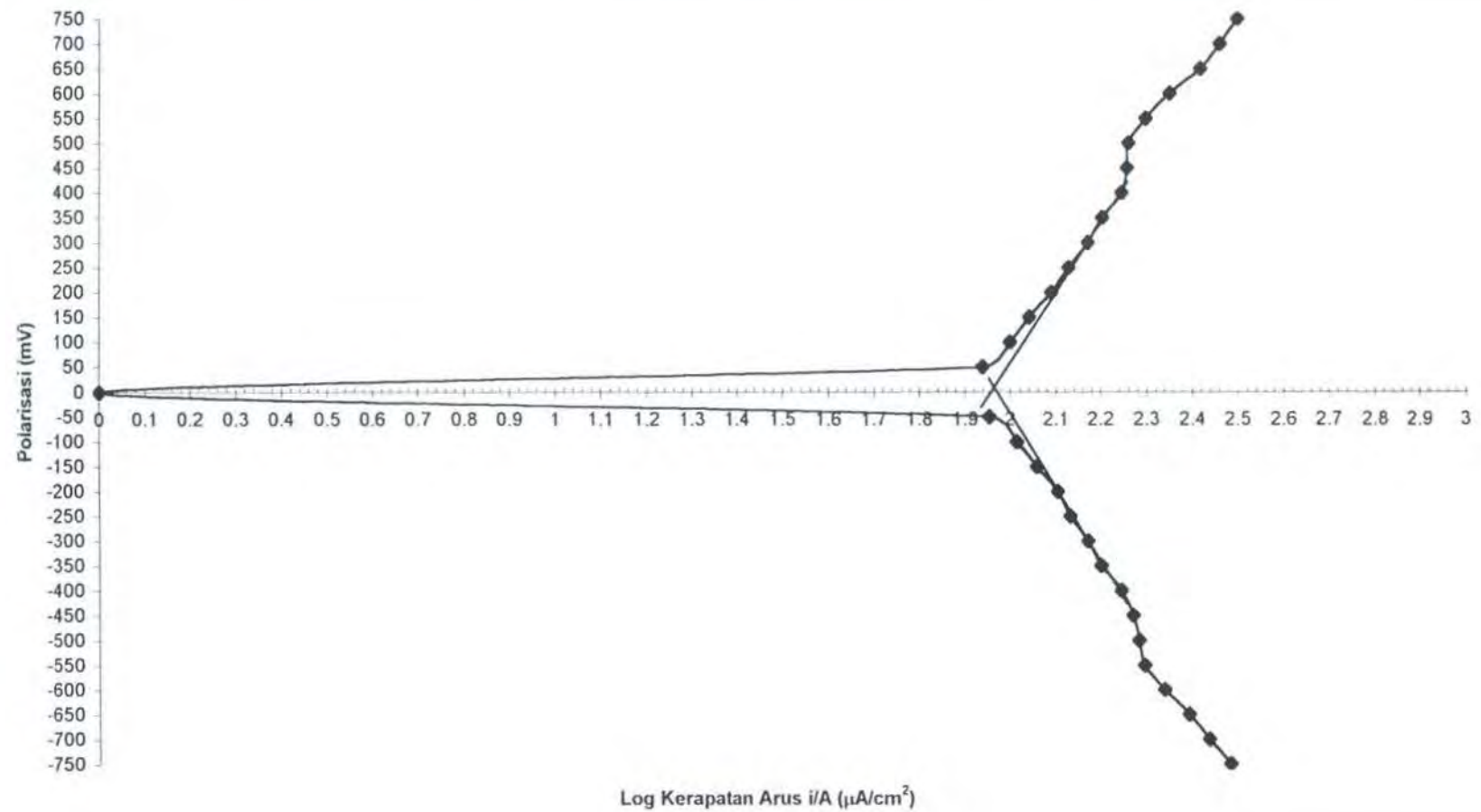
Untuk **Weld Metal** Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm

Dengan Elektroda **E 7016** Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter

Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V ( mV )	Data Percobaan		i / A ( $\mu$ A / cm <sup>2</sup> )	Log ( i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu$ A )		
-750	0.754	754.00	302.8112	2.481172
-700	0.678	678.00	272.2892	2.435030
-650	0.613	613.00	246.1847	2.391261
-600	0.541	541.00	217.2691	2.336998
-550	0.489	489.00	196.3855	2.293110
-500	0.476	476.00	191.1647	2.281408
-450	0.462	462.00	185.5422	2.268443
-400	0.436	436.00	175.1004	2.243287
-350	0.394	394.00	158.2329	2.199297
-300	0.369	369.00	148.1928	2.170827
-250	0.337	337.00	135.3414	2.131431
-200	0.316	316.00	126.9076	2.103488
-150	0.284	284.00	114.0562	2.057119
-100	0.257	257.00	103.2129	2.013734
-50	0.224	224.00	89.9598	1.954049
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.216	216.00	86.7470	1.938254
100	0.248	248.00	99.5984	1.998252
150	0.273	273.00	109.6386	2.039963
200	0.306	306.00	122.8916	2.089522
250	0.334	334.00	134.1365	2.127547
300	0.369	369.00	148.1928	2.170827
350	0.397	397.00	159.4378	2.202591
400	0.437	437.00	175.5020	2.244282
450	0.449	449.00	180.3213	2.256047
500	0.452	452.00	181.5261	2.258939
550	0.493	493.00	197.9920	2.296648
600	0.557	557.00	223.6948	2.349656
650	0.649	649.00	260.6426	2.416045
700	0.716	716.00	287.5502	2.458714
750	0.784	784.00	314.8594	2.498117

Grafik Polarisasi III Untuk Weld Metal Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm Dengan Elektroda E7016



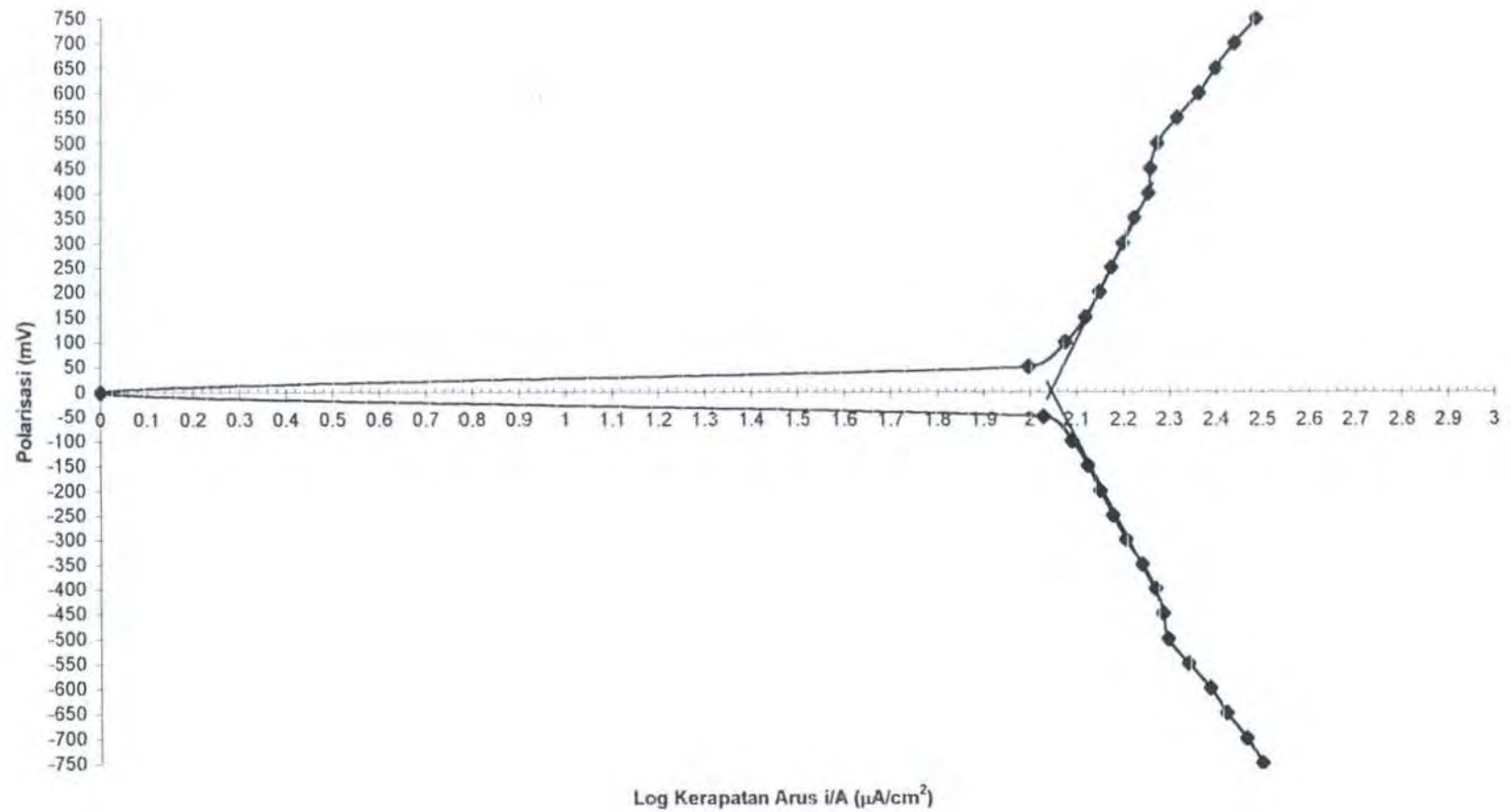


Data Percobaan Polarisasi I

Untuk **HAZ** Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm  
 Dengan Elektroda **E 7016** Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter  
 Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V ( mV )	Data Percobaan		i / A ( $\mu\text{A} / \text{cm}^2$ )	Log ( i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu\text{A}$ )		
-750	0.783	783.00	314.4578	2.497562
-700	0.724	724.00	290.7631	2.463539
-650	0.655	655.00	263.0522	2.420042
-600	0.604	604.00	242.5703	2.384838
-550	0.543	543.00	218.0723	2.338600
-500	0.491	491.00	197.1888	2.294882
-450	0.479	479.00	192.3695	2.284136
-400	0.462	462.00	185.5422	2.268443
-350	0.432	432.00	173.4940	2.239284
-300	0.398	398.00	159.8394	2.203684
-250	0.374	374.00	150.2008	2.176672
-200	0.352	352.00	141.3655	2.150343
-150	0.331	331.00	132.9317	2.123629
-100	0.306	306.00	122.8916	2.089522
-50	0.266	266.00	106.8273	2.028682
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.247	247.00	99.1968	1.996498
100	0.296	296.00	118.8755	2.075092
150	0.327	327.00	131.3253	2.118348
200	0.351	351.00	140.9639	2.149108
250	0.372	372.00	149.3976	2.174344
300	0.394	394.00	158.2329	2.199297
350	0.416	416.00	167.0683	2.222894
400	0.447	447.00	179.5181	2.254108
450	0.452	452.00	181.5261	2.258939
500	0.467	467.00	187.5502	2.273118
550	0.516	516.00	207.2289	2.316450
600	0.574	574.00	230.5221	2.362713
650	0.624	624.00	250.6024	2.398985
700	0.685	685.00	275.1004	2.439491
750	0.764	764.00	306.8273	2.486894

Grafik Polarisation I Untuk HAZ Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm Dengan Elektroda E7016





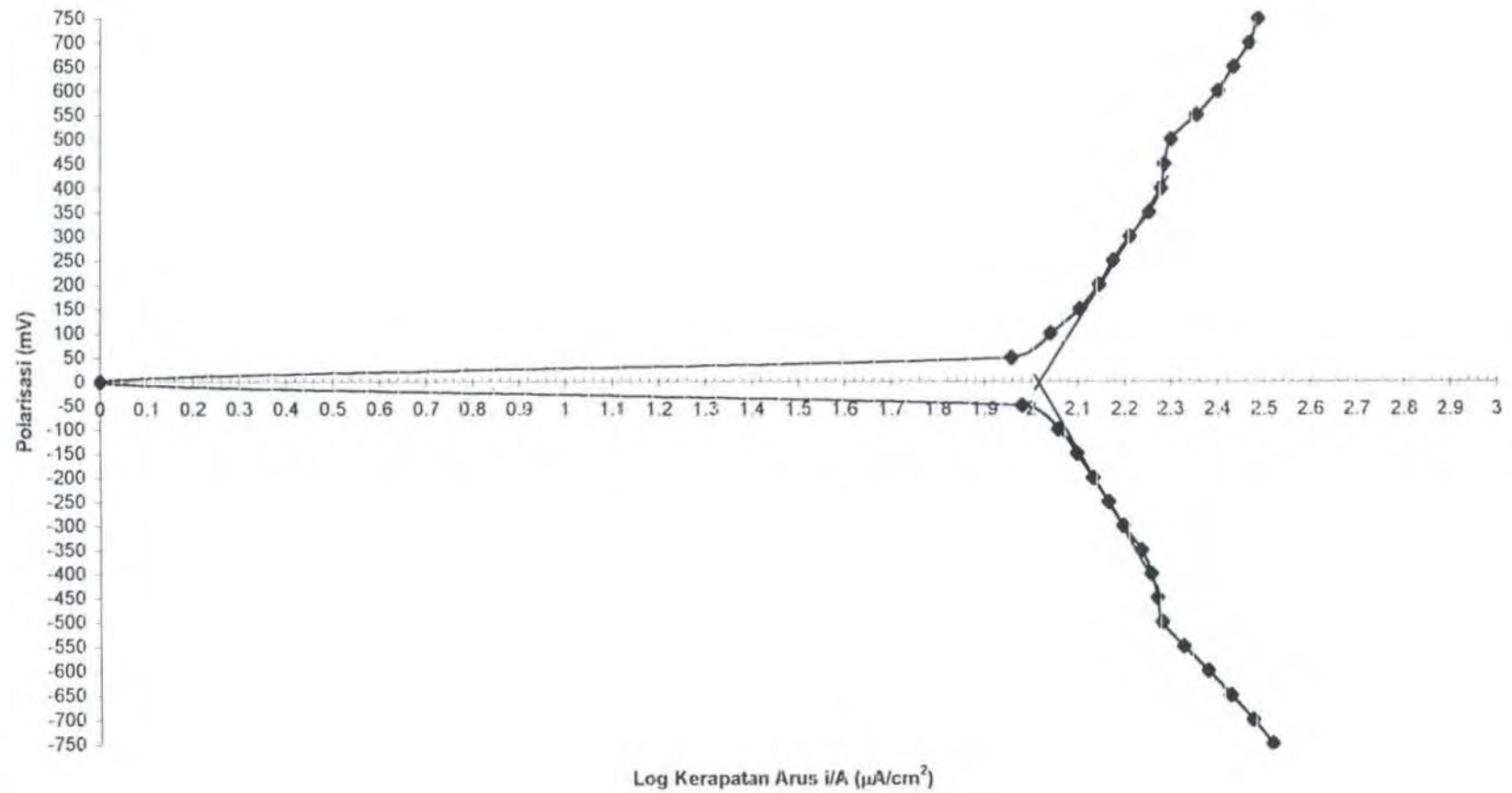
## Data Percobaan Polarisasi II

Untuk **HAZ** Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm  
 Dengan Elektroda **E 7016** Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter  
 Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V ( mV )	Data Percobaan		i / A ( $\mu\text{A} / \text{cm}^2$ )	Log ( i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu\text{A}$ )		
-750	0.816	816.00	327.7108	2.515491
-700	0.741	741.00	297.5904	2.473619
-650	0.664	664.00	266.6667	2.425969
-600	0.594	594.00	238.5542	2.377587
-550	0.527	527.00	211.6466	2.325611
-500	0.474	474.00	190.3614	2.279579
-450	0.462	462.00	185.5422	2.268443
-400	0.449	449.00	180.3213	2.256047
-350	0.428	428.00	171.8876	2.235244
-300	0.391	391.00	157.0281	2.195977
-250	0.364	364.00	146.1847	2.164902
-200	0.337	337.00	135.3414	2.131431
-150	0.312	312.00	125.3012	2.097955
-100	0.284	284.00	114.0562	2.057119
-50	0.238	238.00	95.5823	1.980378
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.226	226.00	90.7631	1.957909
100	0.274	274.00	110.0402	2.041551
150	0.316	316.00	126.9076	2.103488
200	0.348	348.00	139.7590	2.145380
250	0.373	373.00	149.7992	2.175509
300	0.405	405.00	162.6506	2.211256
350	0.446	446.00	179.1165	2.253136
400	0.473	473.00	189.9598	2.278662
450	0.481	481.00	193.1727	2.285946
500	0.496	496.00	199.1968	2.299282
550	0.564	564.00	226.5060	2.355080
600	0.626	626.00	251.4056	2.400375
650	0.676	676.00	271.4859	2.433747
700	0.731	731.00	293.5743	2.467718
750	0.765	765.00	307.2289	2.487462



Grafik Polarisasi II Untuk HAZ Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm Dengan Elektroda E7016

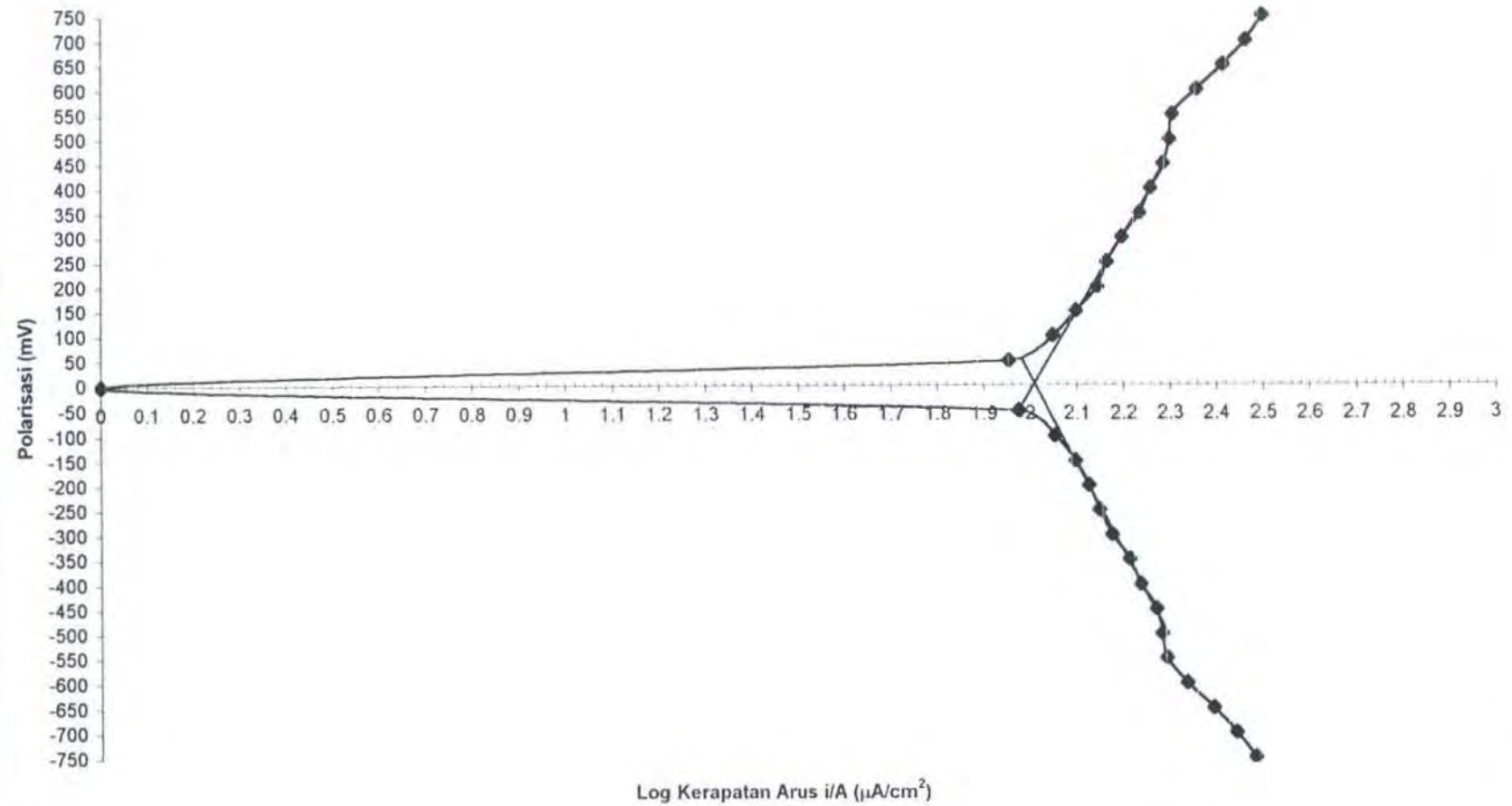


### Data Percobaan Polarisasi III

Untuk HAZ Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm  
 Dengan Elektroda E 7016 Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter  
 Dengan Luasan Spesimen  $2.49 \text{ cm}^2$

V (mV)	Data Percobaan		i / A ( $\mu\text{A} / \text{cm}^2$ )	Log (i / A)
	i (mA)	i ( $\mu\text{A}$ )		
-750	0.751	751.00	301.6064	2.479441
-700	0.684	684.00	274.6988	2.438857
-650	0.612	612.00	245.7831	2.390552
-600	0.537	537.00	215.6627	2.333775
-550	0.486	486.00	195.1807	2.290437
-500	0.474	474.00	190.3614	2.279579
-450	0.462	462.00	185.5422	2.268443
-400	0.427	427.00	171.4859	2.234229
-350	0.405	405.00	162.6506	2.211256
-300	0.372	372.00	149.3976	2.174344
-250	0.349	349.00	140.1606	2.146626
-200	0.332	332.00	133.3333	2.124939
-150	0.311	311.00	124.8996	2.096561
-100	0.281	281.00	112.8514	2.052507
-50	0.235	235.00	94.3775	1.974869
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.224	224.00	89.9598	1.954049
100	0.278	278.00	111.6466	2.047845
150	0.312	312.00	125.3012	2.097955
200	0.347	347.00	139.3574	2.144130
250	0.364	364.00	146.1847	2.164902
300	0.392	392.00	157.4297	2.197087
350	0.427	427.00	171.4859	2.234229
400	0.452	452.00	181.5261	2.258939
450	0.481	481.00	193.1727	2.285946
500	0.496	496.00	199.1968	2.299282
550	0.503	503.00	202.0080	2.305369
600	0.568	568.00	228.1124	2.358149
650	0.647	647.00	259.8394	2.414705
700	0.723	723.00	290.3614	2.462939
750	0.784	784.00	314.8594	2.498117

Grafik Polarisasi II Untuk HAZ Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm Dengan Elektroda E7016





Data Percobaan Polarisasi I

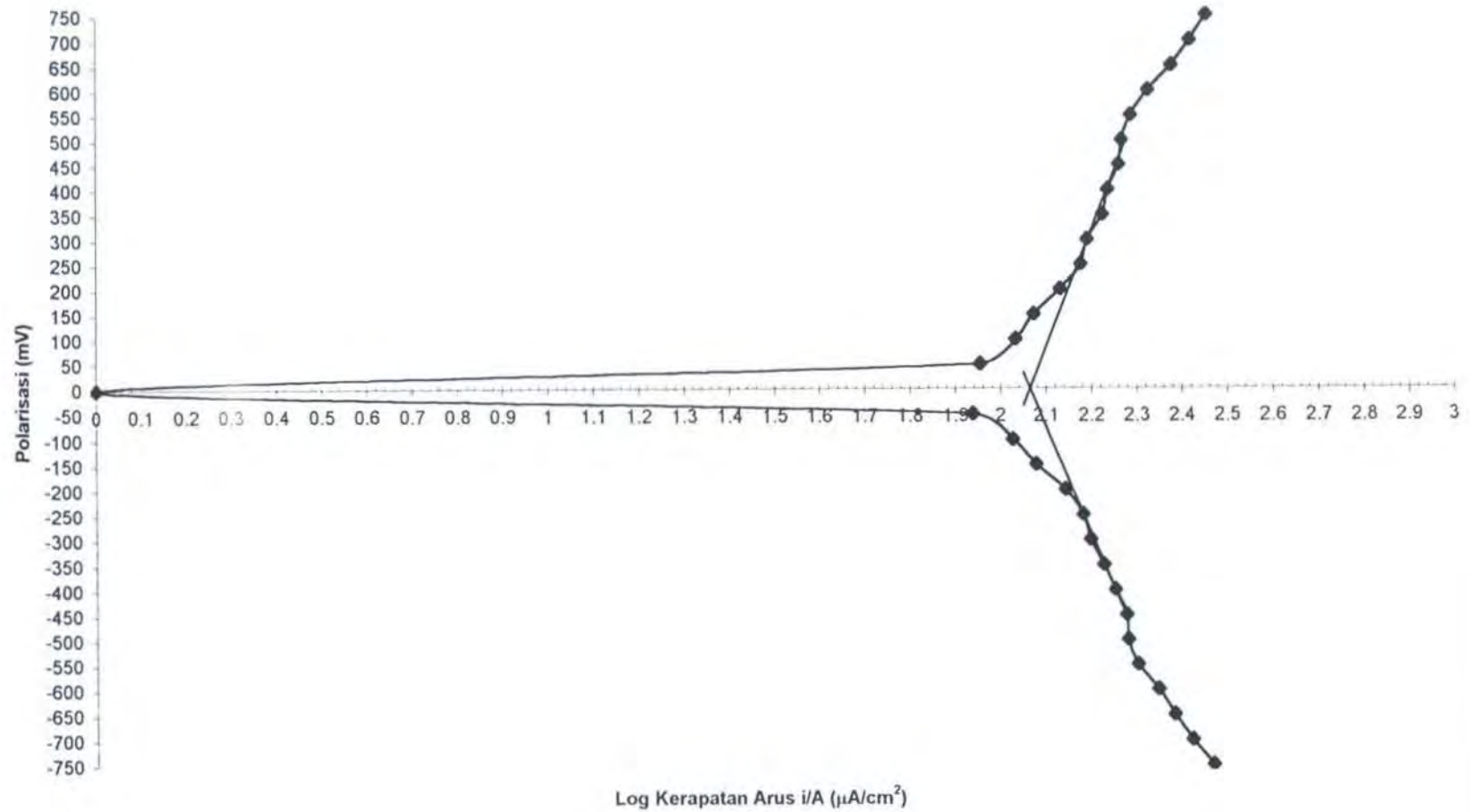
Untuk **Weld Metal** Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm

Dengan Elektroda **E 7010** Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter

Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V ( mV )	Data Percobaan		i / A ( $\mu\text{A} / \text{cm}^2$ )	Log ( i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu\text{A}$ )		
-750	0.726	726.00	291.5663	2.464737
-700	0.654	654.00	262.6506	2.419378
-650	0.596	596.00	239.3574	2.379047
-600	0.551	551.00	221.2851	2.344952
-550	0.495	495.00	198.7952	2.298406
-500	0.472	472.00	189.5582	2.277743
-450	0.468	468.00	187.9518	2.274047
-400	0.442	442.00	177.5100	2.249223
-350	0.417	417.00	167.4699	2.223937
-300	0.391	391.00	157.0281	2.195977
-250	0.376	376.00	151.0040	2.178988
-200	0.345	345.00	138.5542	2.141620
-150	0.297	297.00	119.2771	2.076557
-100	0.264	264.00	106.0241	2.025405
-50	0.216	216.00	86.7470	1.938254
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.224	224.00	89.9598	1.954049
100	0.268	268.00	107.6305	2.031935
150	0.294	294.00	118.0723	2.072148
200	0.336	336.00	134.9398	2.130140
250	0.374	374.00	150.2008	2.176672
300	0.386	386.00	155.0201	2.190388
350	0.417	417.00	167.4699	2.223937
400	0.429	429.00	172.2892	2.236258
450	0.453	453.00	181.9277	2.259899
500	0.460	460.00	184.7390	2.266558
550	0.482	482.00	193.5743	2.286848
600	0.526	526.00	211.2450	2.324786
650	0.594	594.00	238.5542	2.377587
700	0.651	651.00	261.4458	2.417382
750	0.708	708.00	284.3373	2.453834

Grafik Polarisasi I Untuk Weld Metal Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm Dengan Elektroda E7010





# Data Percobaan Polarisasi II

Untuk **Weld Metal** Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm

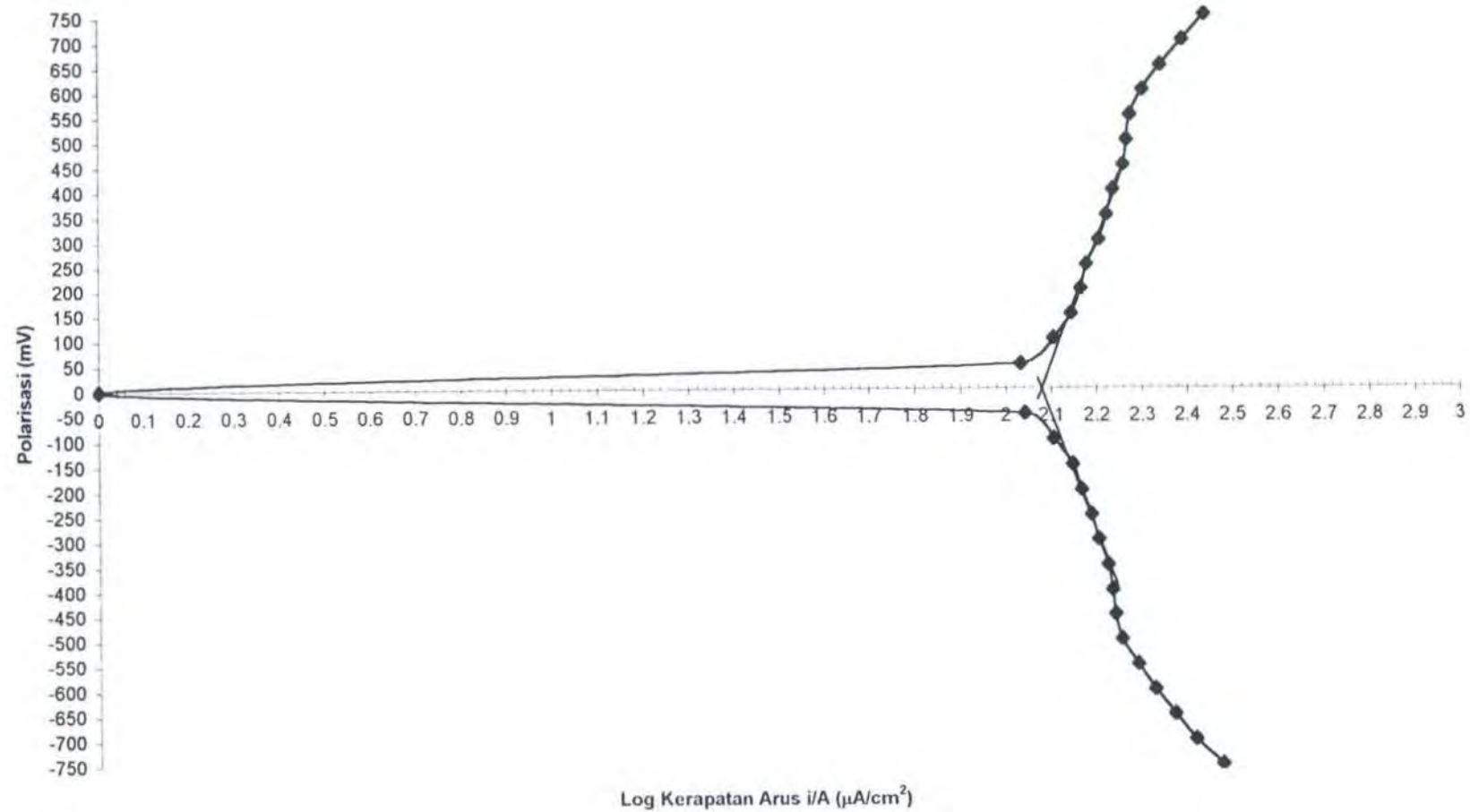
Dengan Elektroda **E 7010** Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter

Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V ( mV )	Data Percobaan		i / A ( $\mu$ A / cm <sup>2</sup> )	Log (i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu$ A )		
-750	0.742	742.00	297.9920	2.474205
-700	0.647	647.00	259.8394	2.414705
-650	0.581	581.00	233.3333	2.367977
-600	0.526	526.00	211.2450	2.324786
-550	0.482	482.00	193.5743	2.286848
-500	0.445	445.00	178.7149	2.252161
-450	0.431	431.00	173.0924	2.238278
-400	0.425	425.00	170.6827	2.232190
-350	0.415	415.00	166.6667	2.221849
-300	0.397	397.00	159.4378	2.202591
-250	0.382	382.00	153.4137	2.185864
-200	0.364	364.00	146.1847	2.164902
-150	0.348	348.00	139.7590	2.145380
-100	0.317	317.00	127.3092	2.104860
-50	0.274	274.00	110.0402	2.041551
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.268	268.00	107.6305	2.031935
100	0.317	317.00	127.3092	2.104860
150	0.347	347.00	139.3574	2.144130
200	0.364	364.00	146.1847	2.164902
250	0.375	375.00	150.6024	2.177832
300	0.399	399.20	160.3213	2.204991
350	0.416	416.00	167.0683	2.222894
400	0.429	429.00	172.2892	2.236258
450	0.453	453.00	181.9277	2.259899
500	0.460	460.00	184.7390	2.266558
550	0.468	468.00	187.9518	2.274047
600	0.499	499.00	200.4016	2.301901
650	0.547	547.00	219.6787	2.341788
700	0.611	611.00	245.3815	2.389842
750	0.686	686.00	275.5020	2.440125



Grafik Polarisasi II Untuk Weld Metal Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm Dengan Elektroda E7010



### Data Percobaan Polarisasi III

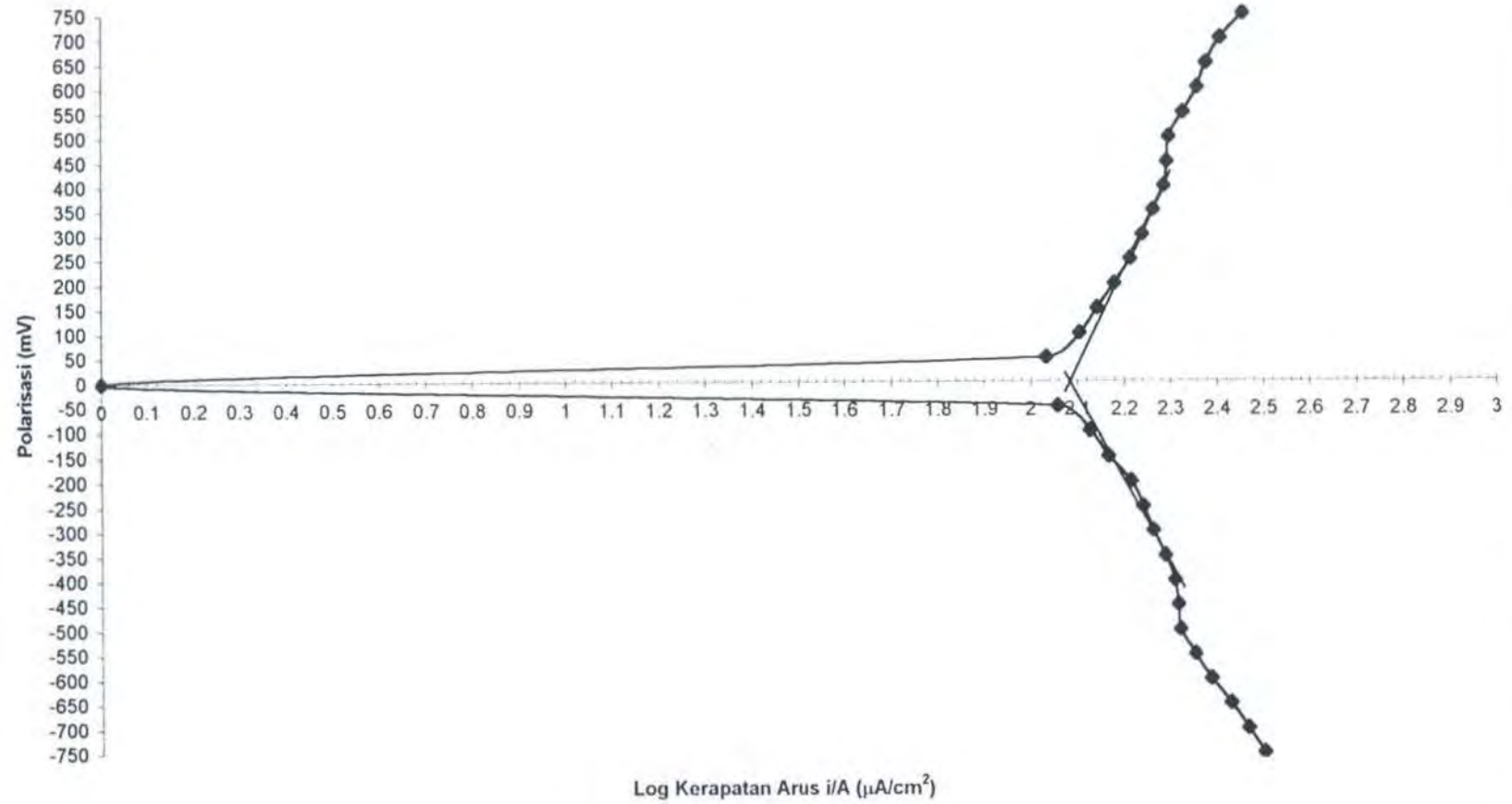
Untuk **Weld Metal** Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm

Dengan Elektroda E 7010 Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter

Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V ( mV )	Data Percobaan		i / A ( $\mu$ A / cm <sup>2</sup> )	Log ( i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu$ A )		
-750	0.783	783.00	314.4578	2.497562
-700	0.724	724.00	290.7631	2.463539
-650	0.664	664.00	266.6667	2.425969
-600	0.603	603.00	242.1687	2.384118
-550	0.557	557.00	223.6948	2.349656
-500	0.518	518.00	208.0321	2.318130
-450	0.513	513.00	206.0241	2.313918
-400	0.504	504.00	202.4096	2.306231
-350	0.481	481.00	193.1727	2.285946
-300	0.453	453.00	181.9277	2.259899
-250	0.431	431.00	173.0924	2.238278
-200	0.407	407.00	163.4538	2.213395
-150	0.364	364.00	146.1847	2.164902
-100	0.332	332.00	133.3333	2.124939
-50	0.284	284.00	114.0562	2.057119
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.268	268.00	107.6305	2.031935
100	0.316	316.00	126.9076	2.103488
150	0.345	345.00	138.5542	2.141620
200	0.376	376.00	151.0040	2.178988
250	0.407	407.00	163.4538	2.213395
300	0.432	432.00	173.4940	2.239284
350	0.455	455.00	182.7309	2.261812
400	0.481	481.00	193.1727	2.285946
450	0.488	488.00	195.9839	2.292220
500	0.493	493.00	197.9920	2.296648
550	0.529	529.00	212.4498	2.327256
600	0.568	568.00	228.1124	2.358149
650	0.594	594.00	238.5542	2.377587
700	0.637	637.00	255.8233	2.407940
750	0.714	714.00	286.7470	2.457499

Grafik Polarisasi III Untuk Weld Metal Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm Dengan Elektroda E7010

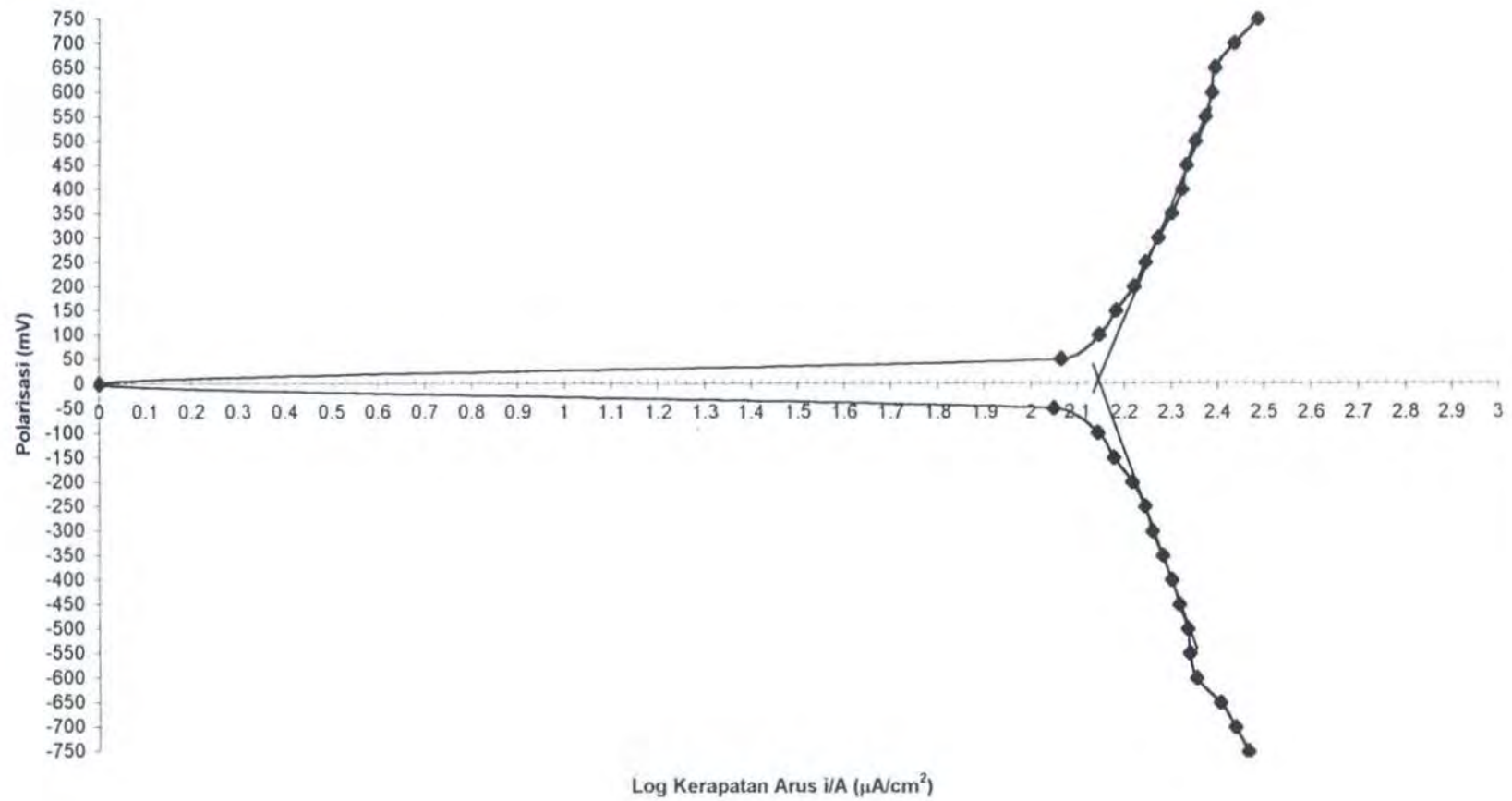




Data Percobaan Polarisasi I  
 Untuk HAZ Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm  
 Dengan Elektroda E 7010 Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter  
 Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V ( mV )	Data Percobaan		i / A ( $\mu$ A / cm <sup>2</sup> )	Log ( i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu$ A )		
-750	0.725	725.00	291.1647	2.464139
-700	0.680	680.00	273.0924	2.436310
-650	0.632	632.00	253.8153	2.404518
-600	0.562	562.00	225.7028	2.353537
-550	0.543	543.00	218.0723	2.338600
-500	0.537	537.00	215.6627	2.333775
-450	0.516	516.00	207.2289	2.316450
-400	0.497	497.00	199.5984	2.300157
-350	0.476	476.00	191.1647	2.281408
-300	0.452	452.00	181.5261	2.258939
-250	0.435	435.00	174.6988	2.242290
-200	0.409	409.00	164.2570	2.215524
-150	0.375	375.00	150.6024	2.177832
-100	0.346	346.00	138.9558	2.142877
-50	0.278	278.00	111.6466	2.047845
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.289	289.00	116.0643	2.064698
100	0.349	349.00	140.1606	2.146626
150	0.379	379.00	152.2088	2.182440
200	0.413	413.00	165.8635	2.219751
250	0.437	437.00	175.5020	2.244282
300	0.466	466.00	187.1486	2.272187
350	0.498	498.00	200.0000	2.301030
400	0.525	525.00	210.8434	2.323960
450	0.536	536.00	215.2610	2.332965
500	0.560	560.00	224.8996	2.351989
550	0.589	589.00	236.5462	2.373916
600	0.610	610.00	244.9799	2.389130
650	0.618	618.00	248.1928	2.394789
700	0.681	681.00	273.4940	2.436948
750	0.764	764.00	306.8273	2.486894

Grafik Polarisasi I Untuk HAZ Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm Dengan Elektroda E7010





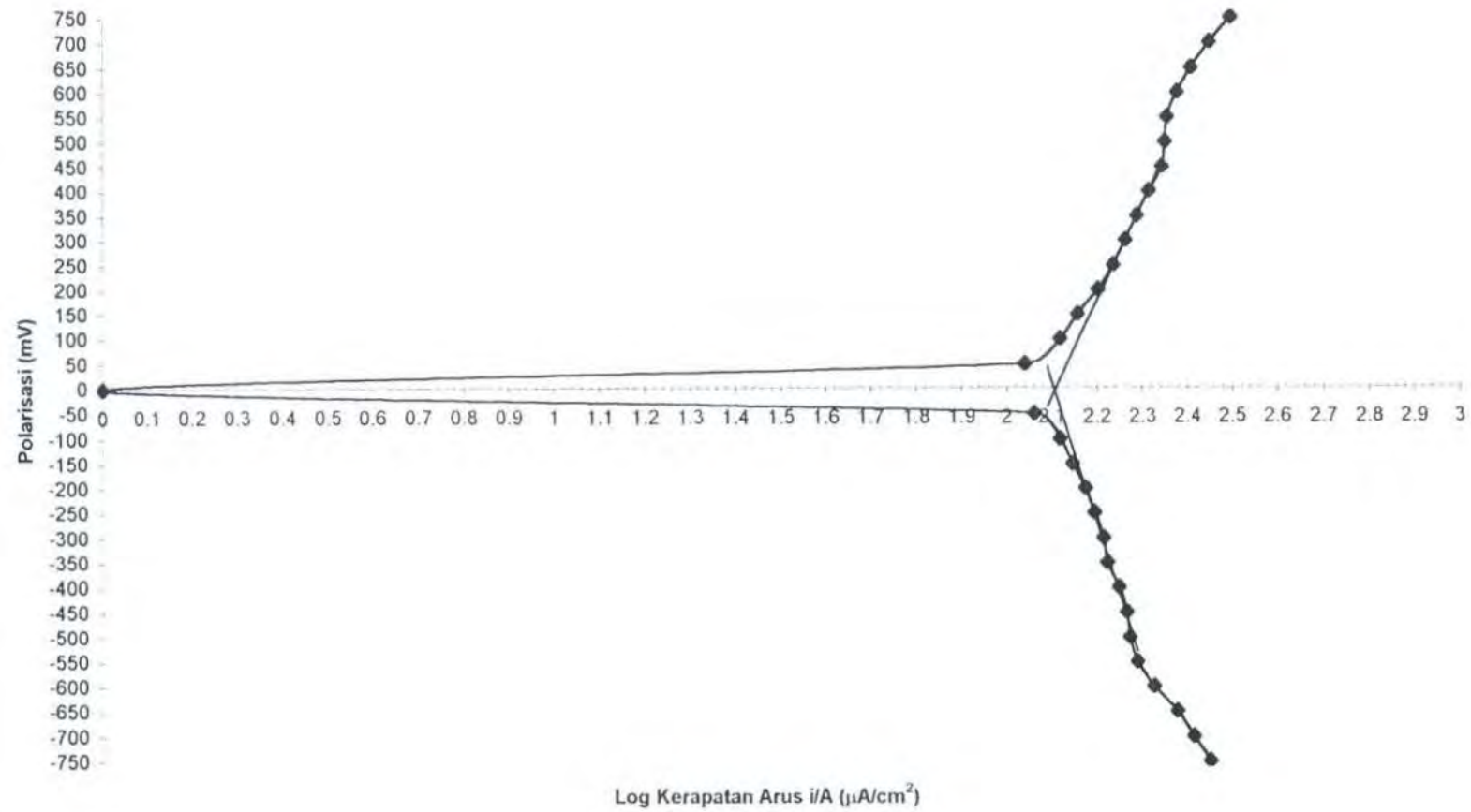
## Data Percobaan Polarisasi II

Untuk HAZ Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm  
 Dengan Elektroda E 7010 Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter  
 Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V ( mV )	Data Percobaan		i / A ( $\mu\text{A} / \text{cm}^2$ )	Log ( i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu\text{A}$ )		
-750	0.697	697.00	279.9197	2.447033
-700	0.641	641.00	257.4297	2.410659
-650	0.589	589.00	236.5462	2.373916
-600	0.523	523.00	210.0402	2.322302
-550	0.481	481.00	193.1727	2.285946
-500	0.462	462.00	185.5422	2.268443
-450	0.456	456.00	183.1325	2.262765
-400	0.438	438.00	175.9036	2.245275
-350	0.413	413.00	165.8635	2.219751
-300	0.406	406.00	163.0522	2.212327
-250	0.387	387.00	155.4217	2.191512
-200	0.371	371.00	148.9960	2.173175
-150	0.348	348.00	139.7590	2.145380
-100	0.326	326.00	130.9237	2.117018
-50	0.286	286.00	114.8594	2.060167
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.273	273.00	109.6386	2.039963
100	0.327	327.00	131.3253	2.118348
150	0.358	358.00	143.7751	2.157684
200	0.397	397.00	159.4378	2.202591
250	0.428	428.00	171.8876	2.235244
300	0.455	455.00	182.7309	2.261812
350	0.483	483.00	193.9759	2.287748
400	0.514	514.00	206.4257	2.314764
450	0.550	550.00	220.8835	2.344163
500	0.558	558.00	224.0964	2.350435
550	0.564	564.00	226.5060	2.355080
600	0.594	594.00	238.5542	2.377587
650	0.637	637.00	255.8233	2.407940
700	0.701	701.00	281.5261	2.449519
750	0.780	780.00	313.2530	2.495895



Grafik Polarisasi II Untuk HAZ Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm Dengan Elektroda E7010

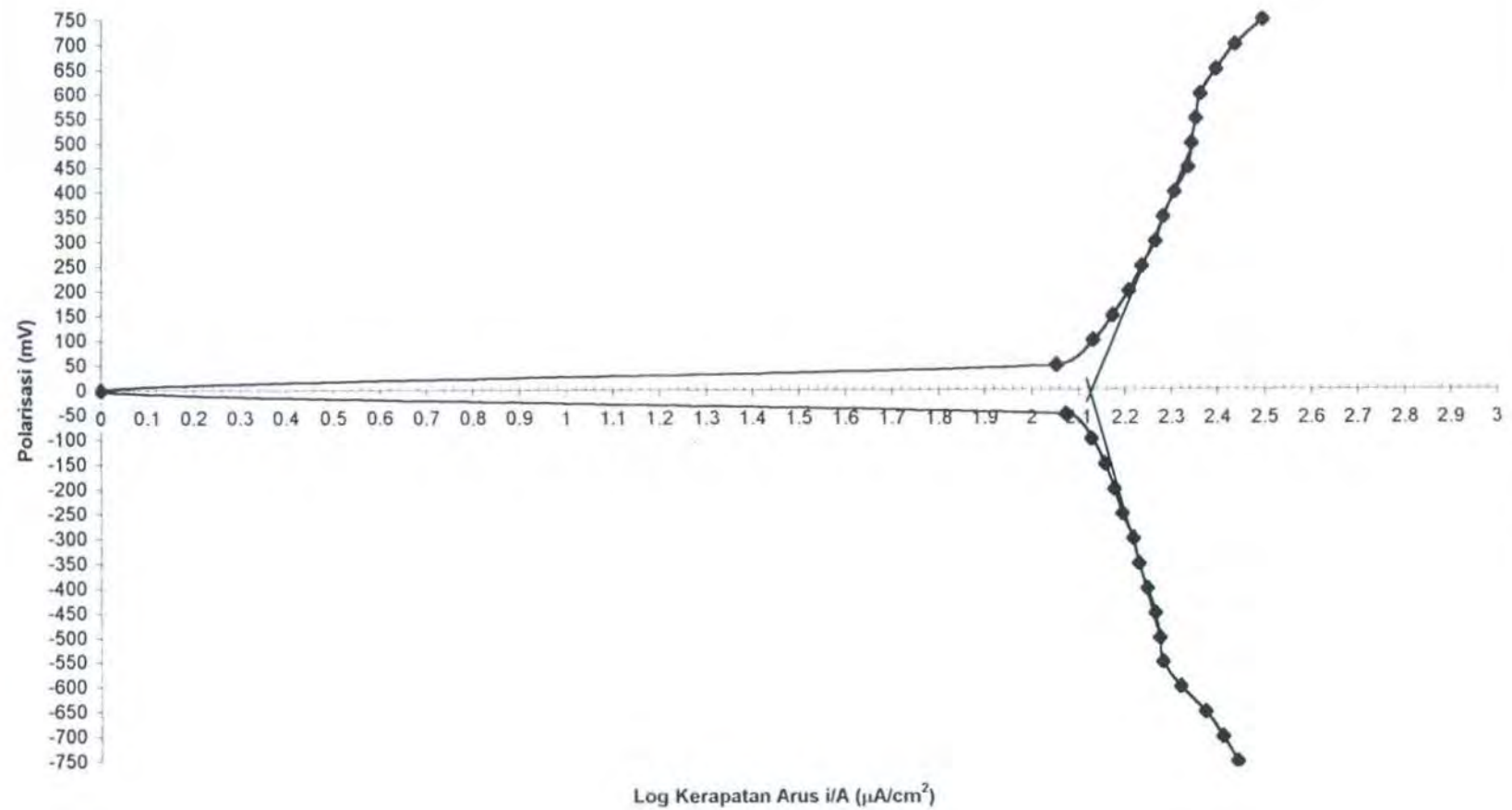


### Data Percobaan Polarisasi III

Untuk **HAZ** Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm  
 Dengan Elektroda E 7010 Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter  
 Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V ( mV )	Data Percobaan		i / A ( $\mu\text{A} / \text{cm}^2$ )	Log ( i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu\text{A}$ )		
-750	0.684	684.00	274.6988	2.438857
-700	0.637	637.00	255.8233	2.407940
-650	0.584	584.00	234.5382	2.370214
-600	0.517	517.00	207.6305	2.317291
-550	0.473	473.00	189.9598	2.278662
-500	0.466	466.00	187.1486	2.272187
-450	0.456	456.00	183.1325	2.262765
-400	0.438	438.00	175.9036	2.245275
-350	0.421	421.00	169.0763	2.228083
-300	0.409	409.00	164.2570	2.215524
-250	0.388	388.00	155.8233	2.192632
-200	0.373	373.00	149.7992	2.175509
-150	0.357	357.00	143.3735	2.156469
-100	0.334	334.00	134.1365	2.127547
-50	0.294	294.00	118.0723	2.072148
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.281	281.00	112.8514	2.052507
100	0.337	337.00	135.3414	2.131431
150	0.371	371.00	148.9960	2.173175
200	0.402	402.00	161.4458	2.208027
250	0.429	429.00	172.2892	2.236258
300	0.459	459.00	184.3373	2.265613
350	0.478	478.00	191.9679	2.283229
400	0.506	506.00	203.2129	2.307951
450	0.542	542.00	217.6707	2.337800
500	0.551	551.00	221.2851	2.344952
550	0.564	564.00	226.5060	2.355080
600	0.576	576.00	231.3253	2.364223
650	0.624	624.00	250.6024	2.398985
700	0.684	684.00	274.6988	2.438857
750	0.784	784.00	314.8594	2.498117

Grafik Polarisasi III Untuk HAZ Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 30 mm Dengan Elektroda E7010





Data Percobaan Polarisasi I

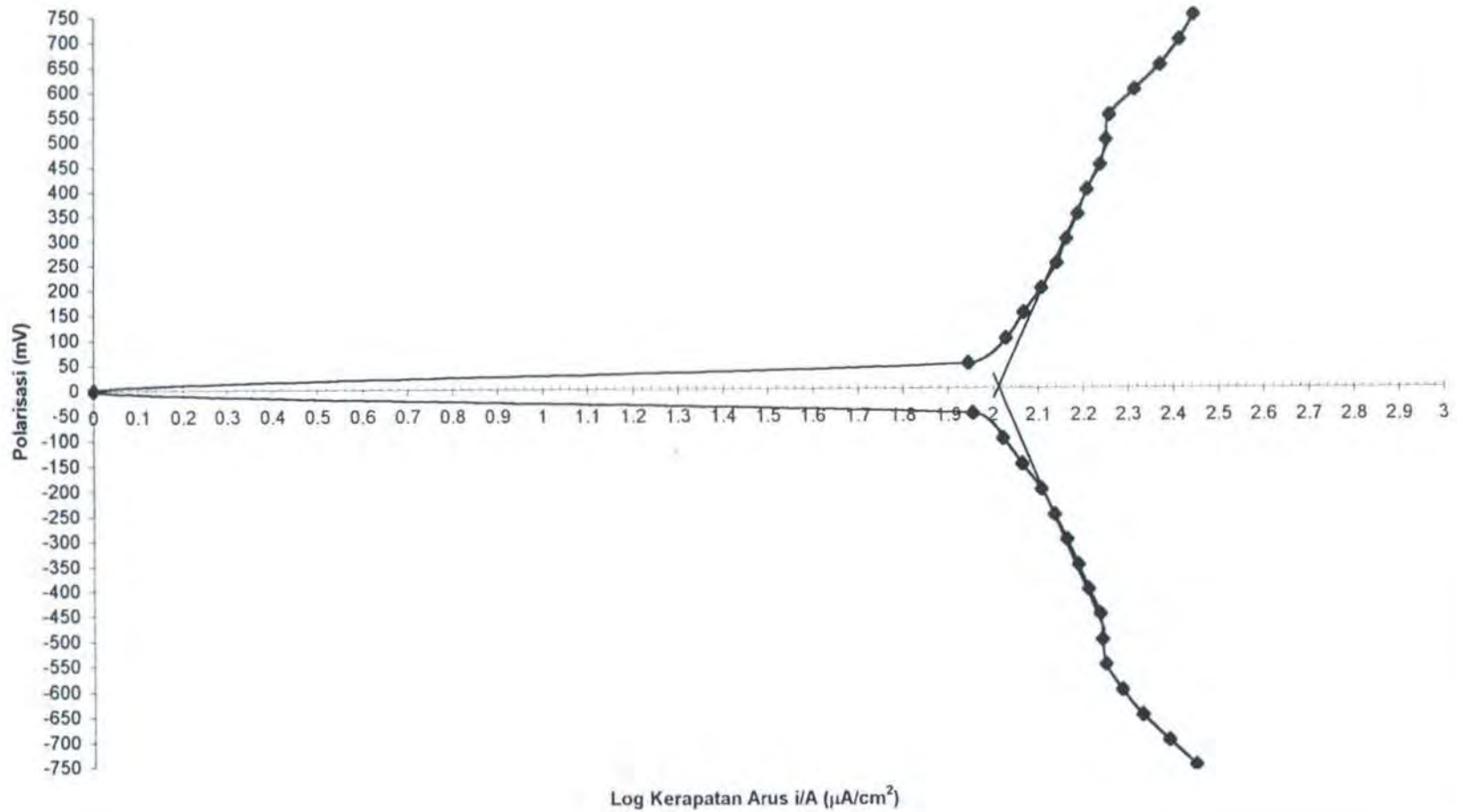
Untuk **Weld Metal** Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm

Dengan Elektroda **E 7010** Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter

Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V ( mV )	Data Percobaan		i / A	Log ( i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu$ A )	( $\mu$ A / cm <sup>2</sup> )	
-750	0.694	694.00	278.7149	2.445160
-700	0.606	606.00	243.3735	2.386273
-650	0.529	529.00	212.4498	2.327256
-600	0.476	476.00	191.1647	2.281408
-550	0.438	438.00	175.9036	2.245275
-500	0.431	431.00	173.0924	2.238278
-450	0.427	427.00	171.4859	2.234229
-400	0.403	403.00	161.8474	2.209106
-350	0.382	382.00	153.4137	2.185864
-300	0.361	361.00	144.9799	2.161308
-250	0.339	339.00	136.1446	2.134000
-200	0.318	318.00	127.7108	2.106228
-150	0.288	288.00	115.6627	2.063193
-100	0.261	261.00	104.8193	2.020441
-50	0.224	224.00	89.9598	1.954049
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.219	219.00	87.9518	1.944245
100	0.266	266.00	106.8273	2.028682
150	0.291	291.00	116.8675	2.067694
200	0.319	319.00	128.1124	2.107591
250	0.345	345.00	138.5542	2.141620
300	0.362	362.00	145.3815	2.162509
350	0.384	384.00	154.2169	2.188132
400	0.403	403.00	161.8474	2.209106
450	0.431	431.00	173.0924	2.238278
500	0.444	444.00	178.3133	2.251184
550	0.452	452.00	181.5261	2.258939
600	0.514	514.00	206.4257	2.314764
650	0.586	586.00	235.3414	2.371698
700	0.647	647.00	259.8394	2.414705
750	0.696	696.00	279.5181	2.446410

Grafik Polarisasi I Untuk Weld Metal Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm Dengan Elektroda E7010



# Data Percobaan Polarisasi II

Untuk **Weld Metal** Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm

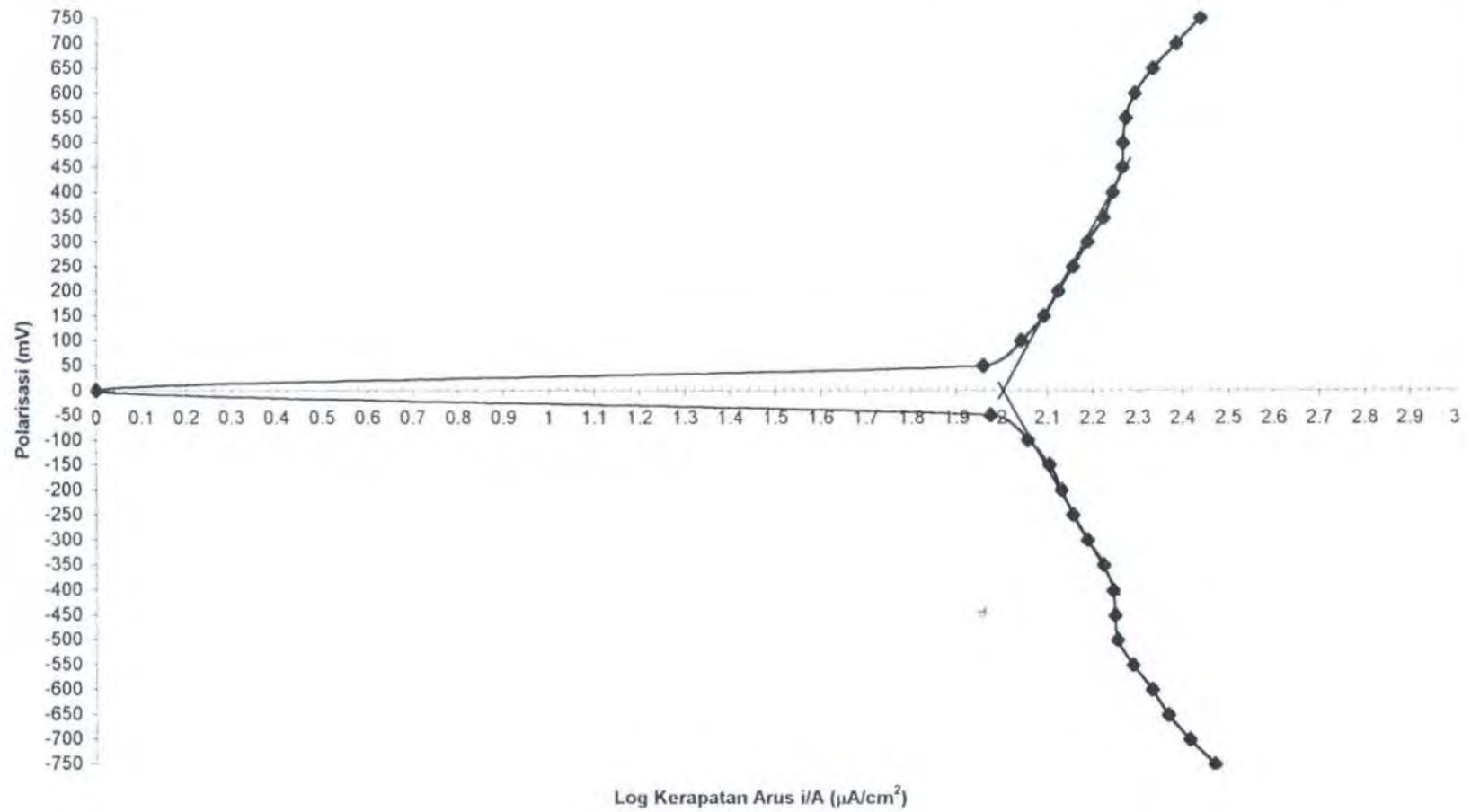
Dengan Elektroda E 7010 Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter

Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V (mV)	Data Percobaan		i / A ( $\mu$ A / cm <sup>2</sup> )	Log (i / A)
	i (mA)	i ( $\mu$ A)		
-750	0.731	731.00	293.5743	2.467718
-700	0.644	644.00	258.6345	2.412687
-650	0.576	576.00	231.3253	2.364223
-600	0.531	531.00	213.2530	2.328895
-550	0.482	482.00	193.5743	2.286848
-500	0.445	445.00	178.7149	2.252161
-450	0.439	439.00	176.3052	2.246265
-400	0.435	435.00	174.6988	2.242290
-350	0.415	415.00	166.6667	2.221849
-300	0.383	383.00	153.8153	2.186999
-250	0.356	356.00	142.9719	2.155251
-200	0.336	336.00	134.9398	2.130140
-150	0.316	316.00	126.9076	2.103488
-100	0.284	284.00	114.0562	2.057119
-50	0.235	235.00	94.3775	1.974869
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.226	226.00	90.7631	1.957909
100	0.274	274.00	110.0402	2.041551
150	0.308	308.00	123.6948	2.092351
200	0.331	331.00	132.9317	2.123629
250	0.357	357.00	143.3735	2.156469
300	0.384	384.00	154.2169	2.188132
350	0.416	416.00	167.0683	2.222894
400	0.436	436.00	175.1004	2.243287
450	0.458	458.00	183.9357	2.264666
500	0.460	460.00	184.7390	2.266558
550	0.466	466.00	187.1486	2.272187
600	0.489	489.00	196.3855	2.293110
650	0.537	537.00	215.6627	2.333775
700	0.603	603.00	242.1687	2.384118
750	0.684	684.00	274.6988	2.438857



Grafik Polarisation II Untuk Weld Metal Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm Dengan Elektroda E7010



### Data Percobaan Polarisasi III

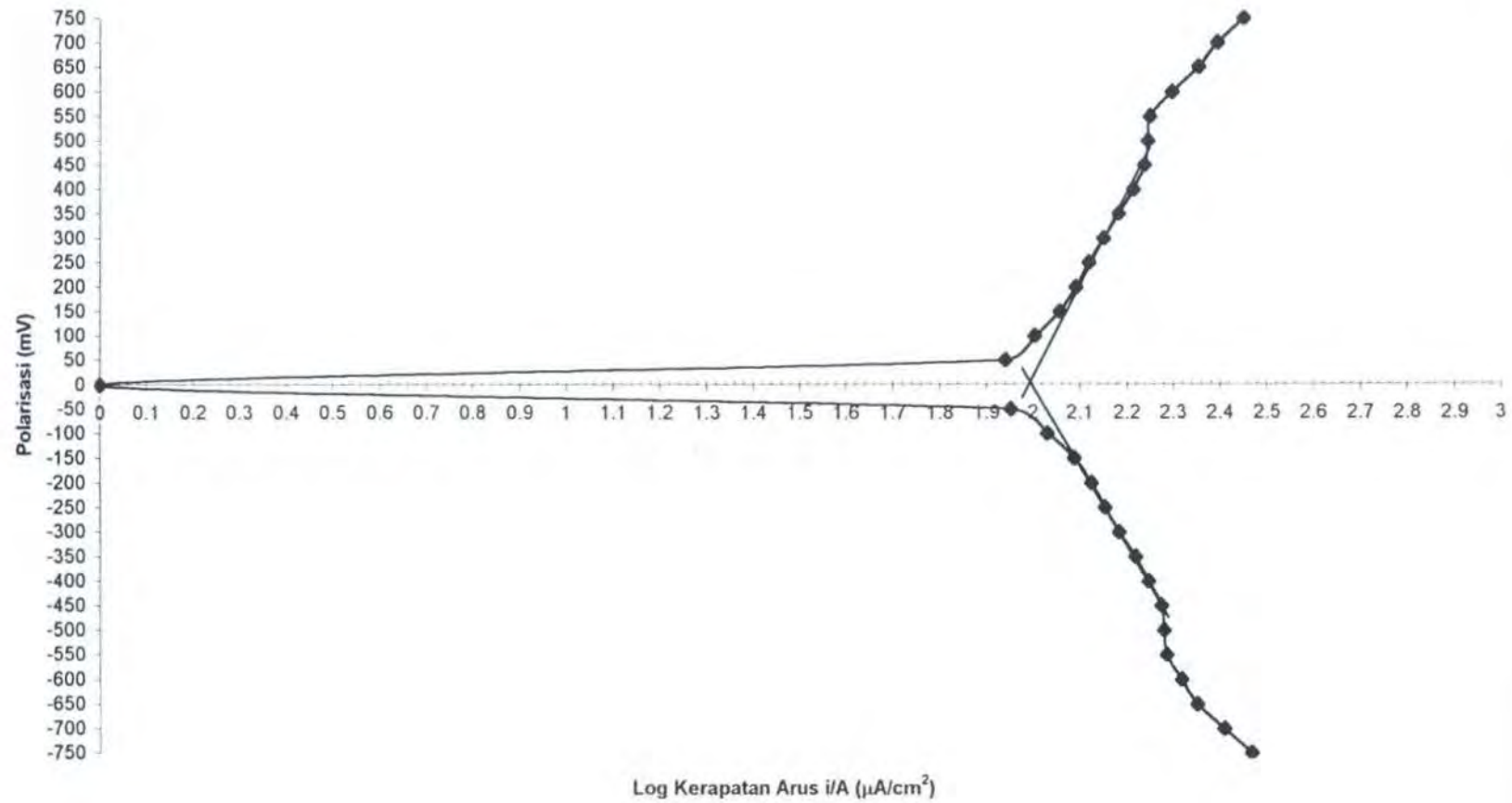
Untuk **Weld Metal** Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm

Dengan Elektroda E 7010 Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter

Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V ( mV )	Data Percobaan		i / A ( $\mu\text{A} / \text{cm}^2$ )	Log ( i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu\text{A}$ )		
-750	0.726	726.00	291.5663	2.464737
-700	0.634	634.00	254.6185	2.405890
-650	0.557	557.00	223.6948	2.349656
-600	0.516	516.00	207.2289	2.316450
-550	0.479	479.00	192.3695	2.284136
-500	0.473	473.00	189.9598	2.278662
-450	0.467	467.00	187.5502	2.273118
-400	0.438	438.00	175.9036	2.245275
-350	0.411	411.00	165.0602	2.217642
-300	0.379	379.00	152.2088	2.182440
-250	0.354	354.00	142.1687	2.152804
-200	0.331	331.00	132.9317	2.123629
-150	0.304	304.00	122.0884	2.086674
-100	0.267	267.00	107.2289	2.030312
-50	0.223	223.00	89.5582	1.952106
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.217	217.00	87.1486	1.940260
100	0.251	251.00	100.8032	2.003474
150	0.284	284.00	114.0562	2.057119
200	0.307	307.00	123.2932	2.090939
250	0.328	328.00	131.7269	2.119674
300	0.352	352.00	141.3655	2.150343
350	0.379	379.00	152.2088	2.182440
400	0.408	408.00	163.8554	2.214461
450	0.431	431.00	173.0924	2.238278
500	0.438	438.00	175.9036	2.245275
550	0.443	443.00	177.9116	2.250204
600	0.495	495.00	198.7952	2.298406
650	0.564	564.00	226.5060	2.355080
700	0.617	617.00	247.7912	2.394086
750	0.704	704.00	282.7309	2.451373

Grafik Polarisasi III Untuk Weld Metal Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm Dengan Elektroda E7010





# Data Percobaan Polarisasi I

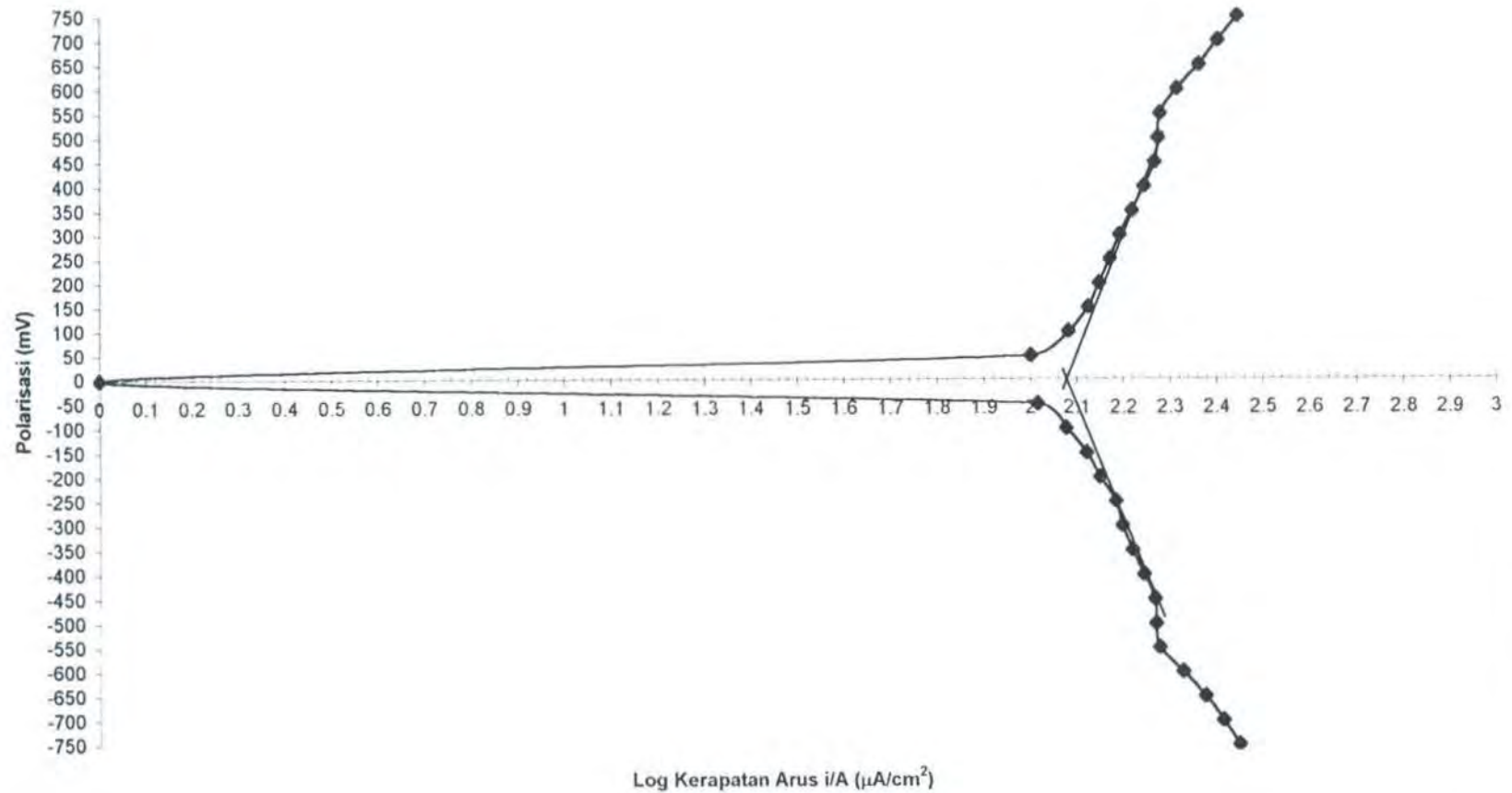
Untuk **HAZ** Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm

Dengan Elektroda **E 7010** Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter

Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V ( mV )	Data Percobaan		i / A ( $\mu$ A / cm <sup>2</sup> )	Log ( i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu$ A )		
-750	0.604	604.00	278.7140	2.445160
-700	0.641	641.00	257.4297	2.410659
-650	0.588	588.00	236.1446	2.373178
-600	0.526	526.00	211.2450	2.324786
-550	0.469	469.00	188.3534	2.274973
-500	0.461	461.00	185.1406	2.267502
-450	0.458	458.00	183.9357	2.264666
-400	0.435	435.00	174.6988	2.242290
-350	0.411	411.00	165.0602	2.217642
-300	0.392	392.00	157.4297	2.197087
-250	0.379	379.00	152.2088	2.182440
-200	0.351	351.00	140.9639	2.149108
-150	0.328	328.00	131.7269	2.119674
-100	0.297	297.00	119.2771	2.076557
-50	0.258	258.00	103.6145	2.015420
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.249	249.00	100.0000	2.000000
100	0.300	300.00	120.4819	2.080922
150	0.331	331.00	132.9317	2.123629
200	0.350	350.00	140.5622	2.147869
250	0.369	369.00	148.1928	2.170827
300	0.388	388.00	155.8233	2.192632
350	0.412	412.00	165.4618	2.218698
400	0.437	437.00	175.5020	2.244282
450	0.461	461.00	185.1406	2.267502
500	0.468	468.00	187.9518	2.274047
550	0.473	473.00	189.9598	2.278662
600	0.514	514.00	206.4257	2.314764
650	0.574	574.00	230.5221	2.362713
700	0.631	631.00	253.4137	2.403830
750	0.694	694.00	278.7149	2.445160

Grafik Polarisasi I Untuk HAZ Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm Dengan Elektroda E7010



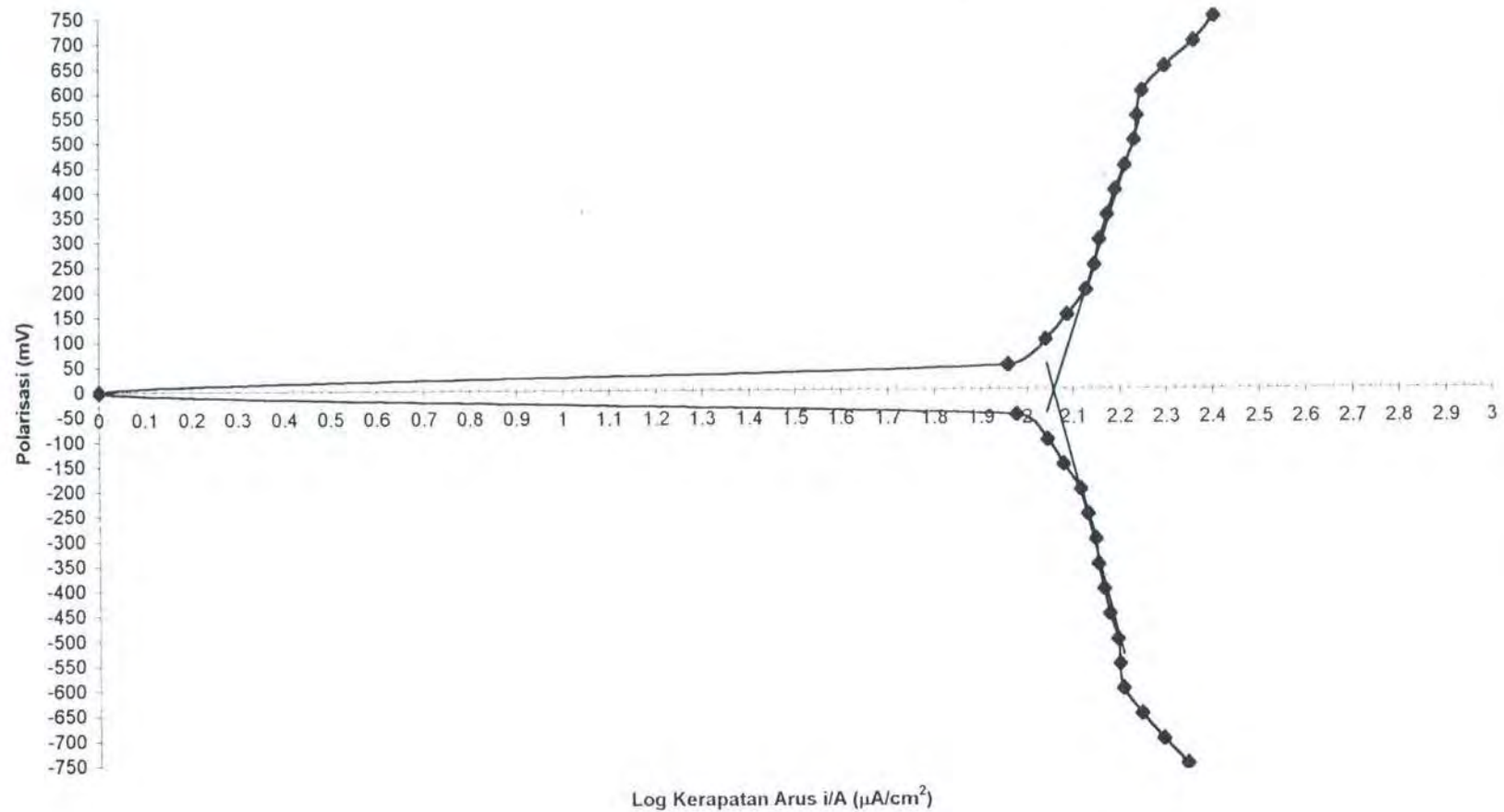
# Data Percobaan Polarisasi II

Untuk HAZ Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm  
 Dengan Elektroda E 7010 Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter  
 Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V ( mV )	Data Percobaan		i / A ( $\mu$ A / cm <sup>2</sup> )	Log ( i / A )
	i ( mA )	i ( $\mu$ A )		
-750	0.546	546.00	219.2771	2.340993
-700	0.484	484.00	194.3775	2.288646
-650	0.435	435.00	174.6988	2.242290
-600	0.397	397.00	159.4378	2.202591
-550	0.390	390.00	156.6265	2.194865
-500	0.386	386.00	155.0201	2.190388
-450	0.371	371.00	148.9960	2.173175
-400	0.361	361.00	144.9799	2.161308
-350	0.352	352.00	141.3655	2.150343
-300	0.347	347.00	139.3574	2.144130
-250	0.335	335.00	134.5382	2.128845
-200	0.323	323.00	129.7189	2.113003
-150	0.297	297.00	119.2771	2.076557
-100	0.275	275.00	110.4418	2.043133
-50	0.236	236.00	94.7791	1.976713
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.226	226.00	90.7631	1.957909
100	0.273	273.00	109.6386	2.039963
150	0.304	304.00	122.0884	2.086674
200	0.334	334.00	134.1365	2.127547
250	0.348	348.00	139.7590	2.145380
300	0.357	357.00	143.3735	2.156469
350	0.371	371.00	148.9960	2.173175
400	0.386	386.00	155.0201	2.190388
450	0.406	406.00	163.0522	2.212327
500	0.425	425.00	170.6827	2.232190
550	0.431	431.00	173.0924	2.238278
600	0.442	442.00	177.5100	2.249223
650	0.495	495.00	198.7952	2.298406
700	0.573	573.00	230.1205	2.361955
750	0.634	634.00	254.6185	2.405890



Grafik Polarisasi II Untuk HAZ Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm Dengan Elektroda E7010



### Data Percobaan Polarisasi III

Untuk HAZ Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm  
 Dengan Elektroda E 7010 Dalam Larutan NaCl 35 gr/liter  
 Dengan Luasan Spesimen 2.49 cm<sup>2</sup>

V (mV)	Data Percobaan		i / A ( $\mu\text{A} / \text{cm}^2$ )	Log (i / A)
	i (mA)	i ( $\mu\text{A}$ )		
-750	0.564	564.00	226.5060	2.355080
-700	0.492	492.00	197.5904	2.295766
-650	0.445	445.00	178.7149	2.252161
-600	0.397	397.00	159.4378	2.202591
-550	0.391	391.00	157.0281	2.195977
-500	0.384	384.00	154.2169	2.188132
-450	0.369	369.00	148.1928	2.170827
-400	0.356	356.00	142.9719	2.155251
-350	0.344	344.00	138.1526	2.140359
-300	0.336	336.00	134.9398	2.130140
-250	0.323	323.00	129.7189	2.113003
-200	0.317	317.00	127.3092	2.104860
-150	0.295	295.00	118.4739	2.073623
-100	0.274	274.00	110.0402	2.041551
-50	0.241	241.00	96.7871	1.985818
0	0.000	0.00	0.0000	0.00
50	0.236	236.00	94.7791	1.976713
100	0.263	263.00	105.6225	2.023756
150	0.294	294.00	118.0723	2.072148
200	0.312	312.00	125.3012	2.097955
250	0.331	331.00	132.9317	2.123629
300	0.346	346.00	138.9558	2.142877
350	0.354	354.00	142.1687	2.152804
400	0.371	371.00	148.9960	2.173175
450	0.385	385.00	154.6185	2.189261
500	0.399	399.00	160.2410	2.204774
550	0.403	403.00	161.8474	2.209106
600	0.417	417.00	167.4699	2.223937
650	0.462	462.00	185.5422	2.268443
700	0.524	524.00	210.4418	2.323132
750	0.607	607.00	243.7751	2.386989

Grafik Polarisasi III Untuk HAZ Pada Pengelasan Pelat SS-41 Tebal 25 mm Dengan Elektroda E7010

